

Sadržaj:

Rezime	2
Ključne reči	2
1.1 Istorija radara	3
1.2 SLAR radar – osnovni pojmovi	4
1.3 SLAR radar – geometrija	5
1.4 SLAR Radar – komponente	6
1.5 Frekvencije operacija	8
1.6 Rezolucija SLAR-a.	9
1.8 Kvalitativne analize SLAR slika	11
1.9 Radiometrijske karakteristike SLAR radara	16
1.10 Geometrijske karakteristike SLAR radara	18
Literatura:	20

Rezime

Seminarski rad će se fokusirati na osnovne principe rada SLAR radara, načinima njegove primene, kao i postupcima analize dobijenih radarskih slika. Daće se akcenat na geometriju samog radara, uslove rada i na princip dobijanja radarskih slika terena. Koristeći se šablonima i analizom dobijenih reflektovanih signala, postaviće se temelj kvalitativne analize i vršiće se prepoznavanje karakterističnih oblasti, objekata i vegetacije. Takođe, postaviće su detalji koji se tiču geometrijskih i radiometrijskih karakteristika SLAR radara i uzrocima nastanka određenih distorzija na radarskim slikama i nastanka radarskih senki. Značajna razlika između rezolucije dometa i azimutne rezolucije će biti definisana, kao i razlozi zbog kojih rezolucija radarskih slika nije konstantna u svim slučajevima.

Ključne reči: SLAR Radar, rezolucija, analiza, geometrija, karakteristike.

1.1 Istorija radara

Po stavu doktora David J. Barr-a, Radar (Radio Detection And Ranging) se može definisati kao uređaj pomoću kojeg se utvrđuje prisustvo i lokacija objekata tako što se detektuje eho, odnosno odjek radio-energije od istih tih objekata. Merenjem vremenskog intervala između emitovanja radio-energije i prijema reflektovane energije od objekta, može se odrediti rastojanje objekta u odnosu na antenu radara. Azimut objekta je određen pravcem iz kojeg je energija reflektovana, a brzina pokretnog objekta se može odrediti merenjem Doplerovog pomaka u odnosu na učestalost reflektovane energije.

Primer koji može da objasni osnovne karakteristike radara je zvuk. Sirene za maglu na brodovima prenose energiju na audio-frekvencijama u svim pravcima. Ako je brod dovoljno blizu kopna, eho će se reflektovati u pravcu broda. Pravac iz kojeg se čuje eho uspostavlja azimut na kopno, dok je vreme koje je potrebno ehu da se vrati je proporcionalan udaljenosti broda od kopna.

Praktični efekti radara prvi put su uočeni 1922. godine kada je grupa inženjera Naval Research laboratorije zapazila da brod, prolazeći između radio-predajnika i prijemnika stvara radio energiju koja se detektuje na predajniku [2]. Dalja istraživanja koja su se sprovodila pre i posle Drugog Svetskog rata su utvrdila i definisala vrednosti i upotrebne mogućnosti radara za razne vojne aplikacije. Radar se intezivno koristio tokom Drugog Svetskog rata za kontrolisanje korišćenja municije, otkrivanja potencijalnih meta kao i za navigaciju na brodovima i avionima. Posle Drugog Svetskog rata, mogućnosti radara se sve više istražuju i počinju da se primenjuju i u civilne svrhe, pre svega svoju ulogu radar nalazi u kartografiji, kontrolisanju vazdušnog prostora, praćenju meteoroloških uslova, ispitivanjima u geologiji i astrometriji, topografiji i kontroli putne brzine u saobraćaju.

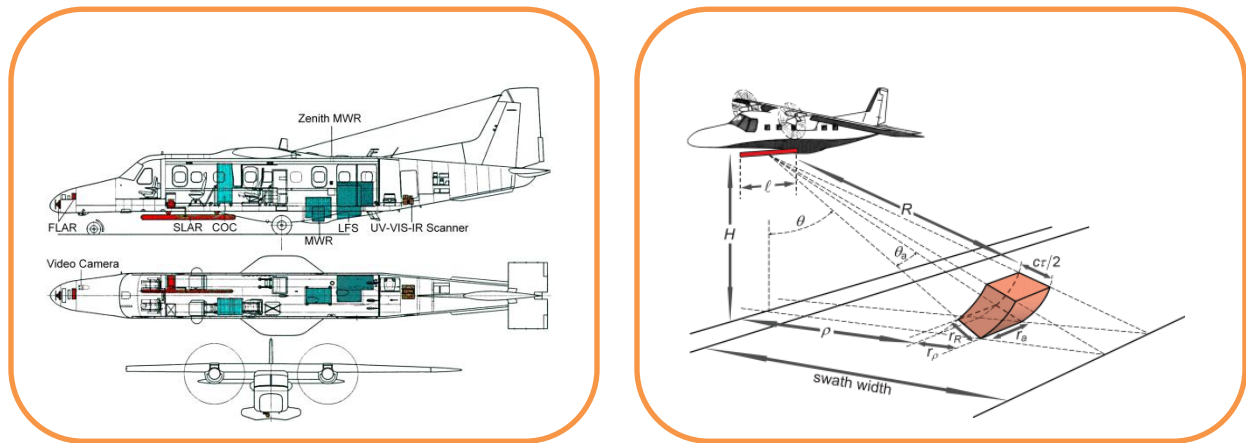
Nikola Tesla je 1917. godine, prvi uspostavio principe radne učestalosti, principe snage i koncept jednostavnog radara. On je dokazao princip generisanja elektromagnetnih talasa, koje može proizvesti po volji, poslati ih iz izvora i izazvati elektromagnetni efekat u prostoru. Smatrao je da se tako može odrediti pozicija, pravac i brzina objekta, a primer je, već pomenuti, brod na moru.

“Elektromagnetni talasi se mogu iskoristiti, ako se kontrolisano emituju iz stanice. Tada se može iskoristiti njihov efekat u svakom pojedinačnom delu sveta. Može se utvrditi relativna pozicija i parametri kretanja objekta, kao sto je brod na moru”

Nikola Tesla 1917. godine

1.2 SLAR radar – osnovni pojmovi

SLAR (Side Looking Airborne Radar) radar je aktivni senzor (slike 1) koji emituje energiju u vidu impulsa, koji su u mikrotalasnom opsegu, i koji prima refleksiju od objekata. Posедуje antenu koja je pričvršćena na donjoj strani letelice. SLAR antena emituje lepezasti zrak, koji je horizontalno uzak, a vertikalno širok, a sam radar snima bočno u odnosu na trag leta.



slike 1 - Side Looking Airborne Radar - SLAR

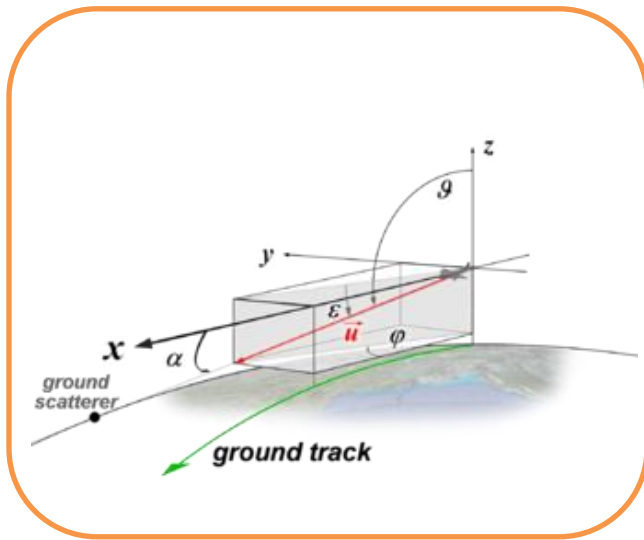
Kada kratak impuls udara u metu, reflektovani signal se odbija nazad. Intezitet reflektovanog signala zavisi od rastojanja između antene i objekta, od vrste objekta, posebno od strukture i orijentacije njegovih reflektujućih površina.

Primljeni signal koji zavisi od vremena nosi informaciju o impulsu koji se obrađuje da bi se na kraju dobila jedna linija radarske slike. Obrada sledeće linije slike počinje kada letelica pređe određeno rastojanje. Ponavljanje ovog procesa stvara dvodimenzionalnu sliku impulsa koji se vraćaju od površine. Brzina snimanja je prilagođena tako da razmere slike u uzdužnoj i poprečnoj dimenziji budu približno jednake. Pošto se direktna razdaljina između antene i objekta određuje merenjem proteklog vremena, slika je donekle iskrivljena zbog razlike u kosim i horizontalnim dužinama na površini [1].

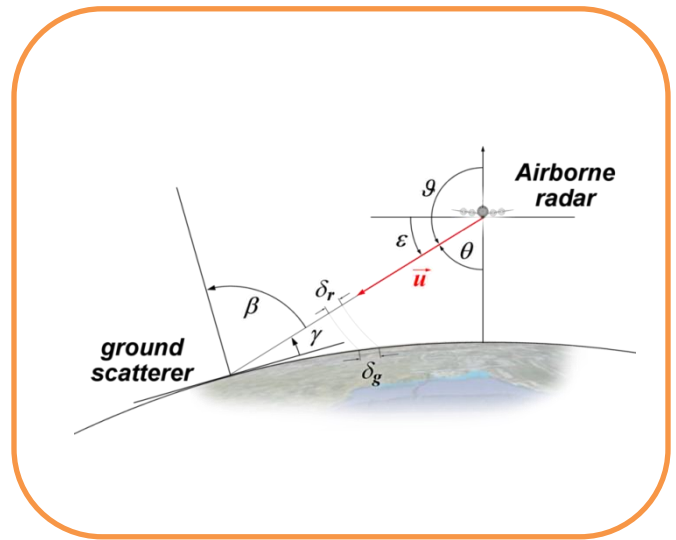
Horizontalni opseg vraćenih signala, koji se može koristiti za izgradnju slike, je širina brazde ili otkosa [1]. To proizilazi iz vertikalnog ugla antene. Signali bliski nadiru ispod aviona se ne mogu iskoristiti zbog visoke refleksije impulsa koji dolaze od površine nazad do antene. Na dugačkim rastojanjima intezitet signala postaje nizak, dok je veličina piksela velika, sto utiče na gornju granicu širine brazde (otkosa).

1.3 SLAR radar – geometrija

SLAR može biti opremljen antenom sa realnim otvorom (Real Aperture Radar, RAR) ili sa antenom koja ima sintetički otvor (SAR). Dizajniran je isključivo za proizvodnju radarskih slika terena. Platforma radara se pomera u pravcu x-ose. Radar “gleda” uglom θ (ugao nadira). Ugao α između x-ose i linije pogleda se naziva konus ugla. Ugao φ između x-ose i projekcije linije pogleda na XY ravan se naziva azimutom. Konus i azimut su međusobno povezani relacijom $\cos\alpha = \cos\varphi \cdot \cos\varepsilon$. Na površini Zemlje, talas dolazi pod uglom β u odnosu na vertikalnu osu u određenoj tački na površini Zemlje.



slika 2 - geometrija SLAR-a

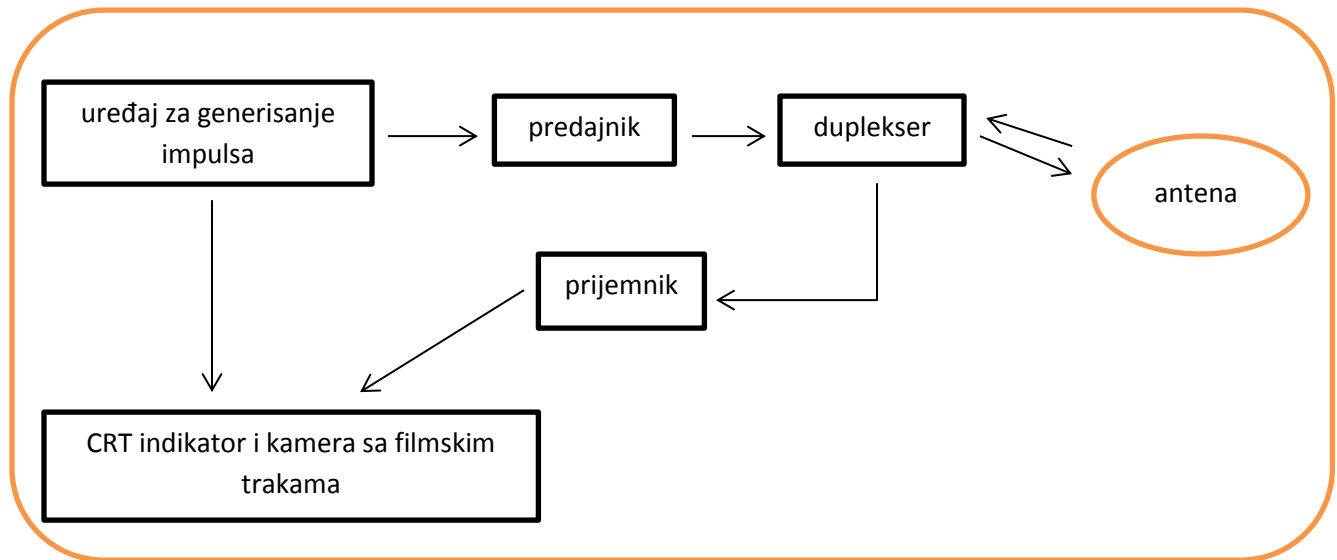


slika 3 - uglovi u vertikalnoj ravni kod SLAR tehnologije

Takođe, moguće je meriti i pravac dolazećeg talasa u odnosu na horizontalnu ravan. Ovaj ugao je jednak $\gamma = 90^\circ - \beta$. Ugao $\vartheta = \varepsilon + 90^\circ$ se koristi za matematičku analizu u sfernom koordinatnom sistemu. Prilikom aproksimacije ove geometrije na ravnu površinu, što je veoma značajno za avionske radare sa malim i srednjim opsezima, može se pretpostaviti da je $\gamma = \varepsilon$ i $\beta = 180^\circ - \vartheta$.

1.4 SLAR Radar - komponente

Tipični radarski sistem [1] se sastoji od uređaja za generisanje impulsa, predajnika, dupleksera, prijemnika, antene i CRT indikatora. U SLAR sistemu, antena je fiksirana na letelici, a indikator sadrži kameru sa filmskim trakama koja fotografiše povratne informacije radara na CTR uređaju.



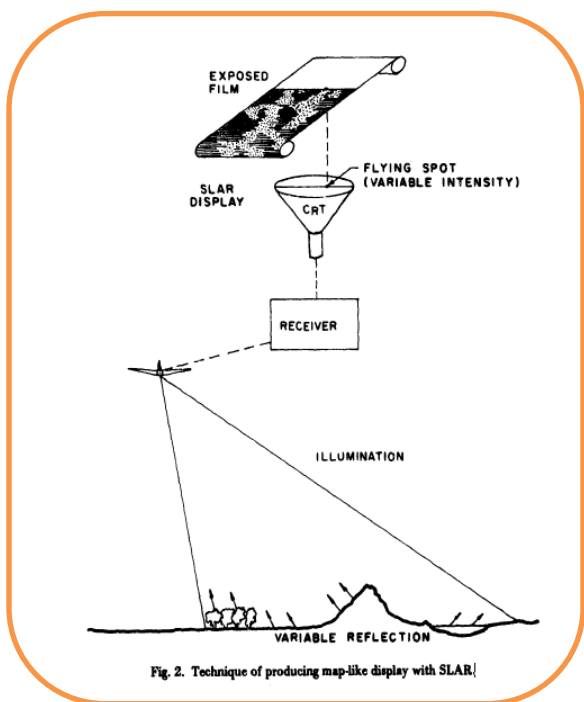
slika 4 - komponente SLAR sistema

Impulsi elektromagnetne energije nastaju pomoću oscilatornog kola koji proizvodi vremenske, odnosno sinhronizovane impulse. Pošto ovi impulsi imaju malu amplitudu, oni se doručuju u pojačavačkom sistemu pre nego sto dođu do transmitera. Modulacija impulsa takođe služi da se utvrdi širina i trajanje transmitovanih impulsa kontrolisanjem širine ključnih impulsa koji se šalju na predajnik oscilatora. Oscilatorno kolo, takođe, aktivira čišćenje CTR uređaja za snimanje. Transmitter pretvara svaki proizvedeni impuls energije u raspršujuću radio-frekventnu (RF) energiju. Specijalne cevi, kao sto su magnetroni ili klistroni, dizajnirani za visoko-frekventne operacije, su potrebni da bi se uspešno izvršila transformacija energije (Moore, R. K.)

SLAR sistemi koriste istu antenu za slanje i primanje radio-energije [2]. Zato, potreban je elektronski prekidač koji sprečava smetnje između poslatih i primljenih impulsa. Za ovu svrhu se koristi duplekser koji blokira prijemnik tokom perioda prenošenja (slanja) impulsa ili vrši blokiranje predajnika tokom perioda prijema impulsa [2]. Antena radara je reflektor koji pretvara radio-energiju u željeni oblik pogodan za slanje, i koji takođe prikuplja odbijene, odnosno reflektovane radio-talase. Fizički oblik antene u velikoj meri utiče na kvalitet i obim pokrivanja radarske slike (Moore, R. K.).

Radio-prijemnik, u osnovi sličan kućnom radio-uređaju, pojačava slabe i oslabljene radio-talase prikupljene od strane antene. Prijemnici su dizajnirani tako da očuvaju oblik impulsa i fazu reflektovane energije. Ovo je od vitalnog značaja, jer vremenski odnos reflektovane energije određuje svoju poziciju kao element rezolucije na finalnoj slici.

U slučaju “grube sile” SLAR sistema, refleksije su pojačane i prikazuju se na CRT uređaju kao elementi rezolucije različitog inteziteta [2]. Intezitet svakog rešivog elementa na CRT uređaju je proporcionalan snazi reflektovane energije od odgovarajuće površine na terenu, dok je relativna pozicija terena određena vremenskim intervalom između poslate energije i njene refleksije nazad do antene radara. Na slici 5 su prikazani principi transformisanja reflektovane energije u mapu prikaza određenog terena. Trajni zapis prikaza terena se dobija prolaskom fotografskog filma po licu CRT uređaja, pri čemu je fotografski film sinhronizovan sa brzinom letelice. Prikaz na sintetičkoj anteni SLAR sistema je film snimljen od mnogo odvojenih, odbijenih signala od tačaka na površini, i kao takvog ga nije moguće direktno interpretirati kao sliku terena.



slika 5 - tehnike izrade mape prikaza

1.5 Frekvencije operacija

Frekvencije radara se kreću u opsegu između 25 hiljada do 70 hiljada MHz [2]. Učestale frekvencije radara koje se koriste za radarska očitavanja i odgovarajuću obradu podataka u obliku koda (šifre) prikazane su u tabeli broj 1. Frekvencije radara koje se uglavnom kreću u opsegu K-benda su podeljene u podkategorije usled njihove upotrebe i u sistemima za slikanje/prikazivanje terena [2]. Uopšteno govoreći, komponente sistema radara, uključujući i antenu, moraju biti veće ukoliko su u pitanju niske frekvencije da bi se održao očekivan nivo efektivnosti uređaja.

Letter Code	Frequency Range (mc)	Wavelength Range (cm)
P	225 – 390	133.3 – 76.9
L	390 – 1550	76.9 – 19.3
S	1550 – 3900	19.3 – 7.69
C	3900 – 6200	7.69 – 4.84
X	6200 – 10,400	4.84 – 2.75
K (General Designation)	10,900 – 36,000	2.75 – 0.83
Ku	Approx. 12,500 – 18,000	
K	Approx. 18,000 – 26,500	
Ka	Approx. 26,500 – 40,000	
Q	36,000 – 46,000	0.83 – 0.65
V	46,000 – 56,000	0.65 – 0.54

tabela 1 – frekvencije radara

1.6 Rezolucija SLAR-a.

Većina uređaja za proizvodnju fotografije ili slike se vrednuju i porede na osnovu rezolucije fotografije ili slike koju proizvode. U svrhe fotografisanja, rezolucija se definiše kao “sposobnost čitavog sistema fotografije - uključujući i sočiva, izloženost, obradu, i druge faktore – da proizvede jasno definisanu sliku [7]. Ona se izražava u broju linija po milimetru, koje su snimljene određenim filmom u određenim okolnostima”. U vezi sa aplikacijama radarskih slika, rezolucija se može definisati i kao sposobnost pravljenja razlika između dva susedna objekta na radarskom zapisu. Međutim, prema ovoj definiciji, reflektujuća priroda samih objekata slikanja, kao i uticaj samog dizajna sistema mogu uticati na rezoluciju dobijene slike. Smatra se, da dva objekta koji proizvode povratne intezitete različitih magnituda mogu zahtevati veću razdaljinu usled detekcije objekata, nego, na primer, objekti koji proizvode povratne intezitete identičnih magnituda. Ukoliko je veća energija koja se reflektuje nazad ka anteni, i sama tačka na CRT-u će biti svetlija i veća u prečniku. Takođe, treba uzeti u obzir da reflektujuća energija jednog objekta može uticati i umanjiti refleksiju drugog objekta. Tako da, ukoliko su dve međusobno bliske tačke na CRT-u veoma svetle, one mogu umanjiti reflektujuću energiju treće tačke. Problem postaje veći ukoliko se sam teren koji se slika sastoji od više različitih reflektujućih površina. Moguće je da rezolucija slike terena koju radar da, a koja je definisana pomoću prethodno pomenutih parametara, neće imati konstantnu vrednost na nekoj od posmatranih slika.

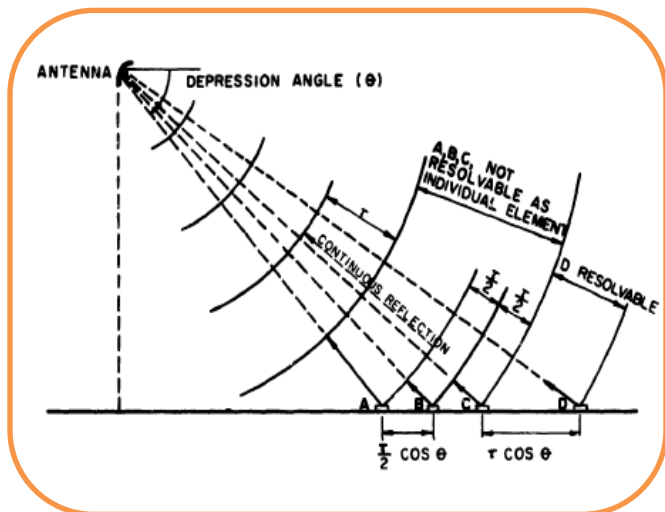
Usvojeno je da mora postojati razlika između rezolucije i detektabilnosti [8]. Iako možda nije moguće razrešiti dva objekta koja su na 100 fita razdaljine, postoji šansa da će se jedan od njih detektovati, ako je sam objekat dobar reflektor, čak i kada je prečnika 1 fit. Prema tome, sposobnost nekog objekta ili dela terena da reflektuje radio-energiju utiče na njegovu detektabilnost. Pošto refleksija nekog objekta ili dela terena utiče na veličinu tačke na CRT uređaju, rezolucija radara nije konstantan geometrijski factor.

Prethodno definisani koncepti su veoma značajni prilikom vrednovanja radarskih slika za analizu terena, analizu i inženjering zemljišta i kreiranje odluka.

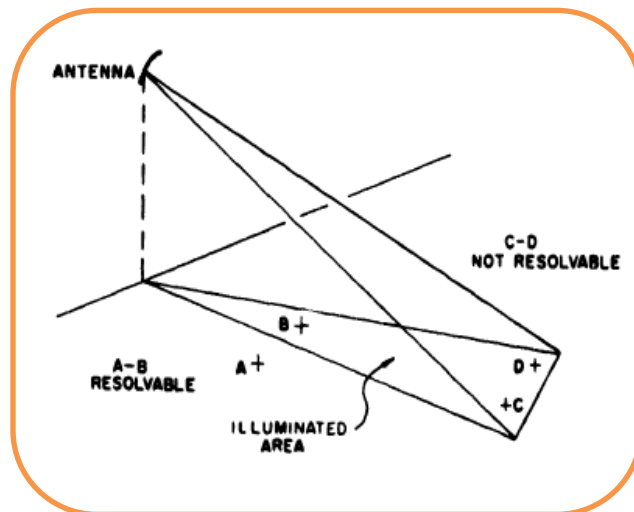
Radarske slike imaju poželjnu karakteristiku posedovanja rezolucije koja neće naglašavati sitne detalje na površini, dok će većina važnih kulturoloških detalja, od kojih su neki manji od rezolucije, biti detektovani zbog njihove velike refleksije.

Rezolucija radarskih slika se u velikoj meri određuje dužinom impulsa prenošene energije i širinom površine zemljišta koja je osvetljena tim impulsima.

Zbog prirode SLAR sistema, rezolucija dometa i azimutna rezolucija su dva nezavisna faktora. Rezolucija dometa, normalna na liniju leta, primarno je određena dužinom svakog prenetog impulsa, dok azimutna rezolucija, paralelna na liniju leta, je određena širinom osvetljene površine zemljišta [7]. Slike 6 i 7 prikazuju faktore koji su uključeni u definisanju rezolucije dometa i azimutne rezolucije.



slika 6 - geometrija rezolucije dometa



slika 7 - geometrija azimutne rezolucije

Rezolucija dometa slike će teoretski biti jednaka polovini dužine impulsa r . Predmeti ili tačke na prirodnoj površini terena koji su međusobno udaljeni razdaljinom koja je jednaka ili manja od $\frac{r}{2} \cos \theta$ će proizvesti refleksiju koja će doći do antene kao kontinuirani impuls energije. CRT indikator će ove refleksije prikazati linearnom, svetlom linijom koja će obuhvatati oba objekta ili tačke. Ukoliko je razdaljina između dva objekta veća od $\frac{r}{2} \cos \theta$, tada će se moći odrediti i definisati dva objekta ili tačke kao dva zasebna, odvojena elementa. Rezolucija dometa, koja zavisi od dužine impulsa, je ograničena sposobnosti prijemnika da detektuje odbijenu energiju. Kako se dužina impulsa skraćuje, ukupna količina energije po impulsu koju emituje predajnik se smanjuje. Samim tim, reflektovana energija je slabija i tada postaje limitirajući faktor. Pojedini radari prevazilaze u nekoj meri ovo ograničenje pomoću elektronske tehnike kompresije impulsa.

Azimutna rezolucija je određena širinom površine terena koja je osvetljena radarskim impulsom. Slika 7 ilustruje geometriju koja je uključena u uspostavljanje azimutne rezolucije i takođe pokazuje zbog čega ona nije konstantna vrednost u pravcu opsega (dometa). Objekti, odnosno tačke na površini zemljišta koje leže unutar osvetljene trake su snimljeni kao jedan objekat u azimutnom pravcu [7].

Širina zraka antene je direktno proporcionalna talasnim dužinama prenošene energije i obrnuto proporcionalna dužini antene. Pod pretpostavkom da je talasna dužina radarskog sistema izabrana na osnovu poželjnih karakteristika refleksije, željena azimutna rezolucija se dobija korektnim dizajniranjem antene. Postoje dve metode koje se najčešće koriste za postizanje visoke azimutne rezolucije. U slučaju “grube sile” radara, antena radara je onoliko duga koliko je to fizički moguće [7]. “Koherentne” i antene sa “sintetičkim otvorom” jednostavno koriste elektronsku tehniku za stvaranje manje širine opsega.

1.8 Kvalitativne analize SLAR slika

Signal se procenjuje na dva nivoa: prvo, na pojedinačne ili male grupe elemenata rezolucije sa neuobičajeno visokom ili niskom vrednošću, iz diskretnih signala koji mogu biti povezani sa odgovarajućim kulturološkim ili lokalnim karakteristikama površine terena. Pored diskretnih signala postoje i “prosečni” ili “reprezentativni” signali koji uglavnom pokazuju uopštene karakteristike površine regionalnog terena. Iako slika takve regionalne oblasti može sadržati veoma važne diskretne signale, ona će takođe pokazati i najuobičajeniji nivo signala koji je reprezentativan za takav slučaj. Osim u veoma malom broju slučajeva, diskretni signali su veoma bitni prilikom identifikacije kulturoloških karakteristika, osenčenih polja radara, i spektralnih i kardinalnih reflektujućih površina, dok procena “prosečnog” signala je važna prilikom tumačenja uslova regionalnih terena [7].

Diskretni signali su važni samo kada su vrednosti signala u suprotnosti sa “prosečnim” signalom. U tom slučaju, oni su uglavnom definisani veoma niskim ili visokim signalom u odnosu na okruženje. Pošto se ne upotrebljava kalibracija slike u ovom slučaju, vrednosti gustine prenosa ili refleksije se ne pojavljuju kao pokazatelji signala. Stoga, samo se koriste vrednosti kvalitativnog i opisnog karaktera.

Veličina diskretnog signala koja je prikazana na SLAR slici je funkcija rezolucije sistema, veličine i oblika posmatranog predmeta, kao i njegove reflektujuće sposobnosti. Visoke povratne vrednosti, koje su pokazatelji visoke sposobnosti refleksije, prikazuju se kao svetle nijanse na slikama. Niske povratne vrednosti se prikazuju kao tamne nijanse na slikama.

Prepoznavanje i opisivanje “prosečnog” signala nije tako jednostavno kao kada su u pitanju izrazito visoki ili niski signali. Čitava kombinacija različitih vrednosti signala mora se kvalitativno proceniti, i procena napravljena na osnovu najreprezentativnijeg signala, nijanse svakog od tih elemenata rezolucije, zapravo, predstavlja meru radarskog preseka tog dela površine koji je osvetljen radarom. U idealnom slučaju, vrednost radarskog preseka bi se mogao meriti u odnosu na hrapavost površine i složenosti dielektrične konstante osvetljenog dela terena. Međutim, pošto ne postoji odgovarajuća teorija za merenje reflektivnog karaktera prirodne i pošumljene površine terena, kao što ne postoji ni kalibrisana radarska slika, element “prosečnog” signala se koristi samo kao jedan od šematskih elemenata a ne kao kvantitativna mera konkretnog terena.

Tabla broj 2 sadrži opšti teren, uslove, geološke materijalne vrste, vrste vegetacije, kao i kvalitativni opis opsega signala (povratne vrednosti) koje su uglavnom pojavljuju na SLAR slici. U svrhu interpretacije vrsta regionalnog zemljišta, onaj ko vrši interpretacije mora da proceni neke od vrednosti signala ili sve vrednosti signala da bi došao do “prosečnog” signala.

Da bi se taj ‘‘prosečni’’ signal efektivno koristio kao šematski element u interpretaciji korišćenja zemljišta potrebno je da se svakoj jedinici površine koja proizvodi različit signal pripiše odgovarajuća relativna vrednost. Na primer, ukoliko se uzme interpretacija obradivog zemljišta kao konačni cilj, niski signali nekoliko pošumljenih parcela bi bili manje važni prilikom određivanja ‘‘prosečnog’’ signala nego, na primer, niski signali površine zemljišta koje su okrenute ka anteni radara. Veoma nizak signal pošumljenog polja je manje važan prilikom procene uslova u tom regionu nego ‘‘prosečan’’ signal travnate površine ili površine koja je prekrivena žitaricama, a koja okružuje pošumljenu površinu. Iako ‘‘prosečan’’ signal retko kada može da se poveže sa jednom odgovarajućom vrstom obradivog zemljišta, može se veoma dobro koristiti u kooperaciji sa drugim šematskim elementima kao pokazatelj uslova te regionalne površine. Kako se složenost i varijabilnost signala povećava, veličina regionalne površine, za koju je vrednost tog ‘‘prosečnog’’ signala bitna, se smanjuje [11].

<p>drveće, šume, šumovite oblasti</p> <p>žbunje, nisko rastinje</p> <p>prirodna trava</p>	<p>difuzna refleksija, visoki povratni signali</p> <p>viši povratni signali sa povećanjem dielektrične konstante u vlažnim i srednje-vlažnim oblastima</p> <p>difuzna refleksija, srednje-slabi signali. Prirodna trava proizvodi manju refleksiju nego močvarne oblasti sa bogatom vegetacijom</p>	<p>svetle nijanse</p> <p>svetle nijanse ili srednje-tamne nijasne</p> <p>srednje-tamne nijasne u oblastima sa srednjom vlažnošću, tamnije nijasne u sušnim oblastima</p>
---	---	--

tabela broj 2 – opis vegetacije, vrsta refleksije i način prikaza vegetacije na SLAR slikama

Detaljna analiza SLAR slike se sastoji od procene šematskih elemenata vezanih za drenažu, topografiju i korišćenje zemljišta u zavisnosti od vrste signala.

Discrete Tonal Element	Condition Producing Element
Thin, sinuous and/or discontinuous lineation of no return, dark tone	Specular reflection from water surface
Thin, sinuous and/or discontinuous lineation of radar shadow, dark tone	Areas absent of any return because of the blocking of radar illumination, stream entrenchment, high-relief topography, and dense, high-riparian vegetation could produce this situation
Thin, sinuous and/or discontinuous medium to high-return elements contrasting with surroundings, medium to light tones	Medium to high returns from riparian vegetation or surface formed by a stream bank facing the SLAR antenna
Thin, sinuous and/or discontinuous lineation formed as a field boundary, Contrasts between light medium and dark average areal tones	Irregular field boundary necessitated by an adjacent, low-order stream
Discontinuous lineations formed as contrasts between relatively large-scale units of medium to high return and radar shadow, contrast between light tones and radar shadow	High-relief topography from which radar shadows are of large areal extent; contrast with high return from slopes facing antenna is great

slika 8 – “drenažna šema”

Na slici 8 su prikazani uslovi koji obično proizvode diskretne signale koji se odnose na drenažnu šemu. Sam izraz “drenažna šema” ne mora nužno da znači da će određeni objekti biti ispunjeni vodom [9]. U sušnim regionima, ova drenažna šema se koristi da izrazi i neke površinske elemente ili niske oblasti koje nose i odvode vodu za vreme padavina [10].

Ukoliko je diskretni signal tanak, vijugav i/ili isprekidan bez povratne informacije (tamna nijansa), u tom slučaju se radi o spekularnoj refleksiji od površine vode. Ukoliko je diskretni signal tanak, vijugav i/ili sa isprekidanim rasporedom linija od radarske senke (tamna nijansa), tada se radi o područjima bez ikakvog povratnog signala zbog blokiranja radarskog osvetljenja (visoki reljef, duboka rečna korita, gusta vegetacija). Ukoliko je diskretni signal vijugav i/ili isprekidan, srednji ili visoki povratni signali koji su u kontrastu sa okolinom, srednje svetle i svetle nijanse nam govore da je reč o obalskoj vegetaciji ili površini koja je formirana od nasipa (obale) potoka. Ukoliko je diskretni signal tanak, vijugav i/ili isprekidan tako da čini granicu određenog terena, ukoliko postoji kontrast između srednje svetlih i tamnih tonova, nepravilne granice terena prouzrokuju susedni, plitki potoci.

Kada se radi o topografiji, visok reljef se na SLAR slikama prikazuje u vidu radarke senke. Više topografske karakteristike obično proizvode senke koje su duže u pravcu snimanja. Svetliji tonovi terena koji nastaju zbog prisustva padina, sa kojima se suočava SLAR antena, se često dovode u vezu za pojmom radarske senke. Oblasti reljefa srednje visine proizvode i manje senke na SLAR slikama. U ovakvim slučajevima, drenažne šeme mogu biti pokazatelji ovakvog reljefa. Oblasti niskog reljefa uglavnom ne proizvode radarske senke niti svetlije tonove zbog topografskih efekata. Kontrasti u tonu i teksturi su rezultat varijacije hrapavosti lokalne podloge [6].

slika 9 – karakteristike radara u vezi sa korišćenjem zemljišta

Cultural Feature	General Radar Image Characteristic	
	Return	Pattern
Urban Area	Very high	Linear and rectangular grid patterns produced by intersecting streets; clusters of high-return spots from buildings
Suburban Area	Medium to High	Linear and rectangular grid produced by intersecting streets; few high-return clusters
Highways – improved	Very low	Linear traces, generally smooth curves
Highways – unimproved	Very low, in general, but similar to return from adjacent terrain	Linear traces, possibly sharp curves, and poor alignment
Railroads	Very high	Linear traces, very gentle curves
Power Transmission Lines	Very high	Beaded patterns resulting from reflection from individual towers
Bridge Structures	Very high	Usually individual high-return spot or short, linear trace
Airport runways; supporting structures	Very low high to very high	Linear traces, X-pattern, clusters of high-return spots
Industrial Area	Very high	Clusters of high returns in localized area
Agricultural Area	Variable high to low	Rectangular blocks with uniform return; variation in return from block to block; contour farming produces fields which tend to parallel existing topography

Na slici 9 su prikazane karakteristike radarskih slika u zavisnosti od kulturoloških karakteristika objekata i terena. Kada se radi o urbanim sredinama, odbijeni povratni signal je veoma visok, a šema povratnog signala koji se odnosi na urbanu sredinu je u obliku linearne ili pravougaone mreže nastale presekom ulica. U manje naseljenim sredinama, povratna refleksija je nešto manja, a oblik šeme povratnog signala je ista, samo što se javlja mnogo manji broj klastera sa visokom refleksijom. U slučaju boljih auto-puteva, refleksija je veoma mala, a šema povratnog signala je oblika pravih linija, obično sa blagim krivinama. Kada je reč o industrijskim oblastima, refleksija je visoka, a beleže se grupe tačaka sa visokim povratnim signalom u lokalizovanom području [4].

Area	Regional Drainage	Regional Topography	Land Use	Special Conditions	Landform and Inferred Engineering Soil Type
A	Braided	Relative Flat, No Relief	No Evidence of Agricultural Activity, Riparian Vegetation is Indicated	Braided Stream Pattern Indicative of Excessive Stream Load	Flood Plain: Unconsolidated Alluvial Material Consisting of Gravel, Sand, and Silt
B	Grossly Dendritic, Locally Deranged, Lakes in Evidence	Rolling Somewhat Irregular Topography, Moderate to Low Relief	No Evidence of Agricultural Activity, Area Predominantly Forest Covered	Area Adjacent to Glacially Eroded U-Shaped Valleys	Ridge Moraine: Unconsolidated Till, Heterogeneous Mixture of Clay, Silt, Sand, and Gravel
C	No Evidence of Surface Drainage	Flat, Multiple Scarps Indicative of Multiple Terrace Levels	Limited Evidence of Agricultural Activity, Several Poorly Defined Rectangular Fields Which Are Probably Pastures, Natural Vegetation Inferred to Consist of Grass and Low Brush	Multiple Terrace Levels Adjacent to Moraine and Glacially Eroded Mountains	Glacial Terrace Deposits: Glacio-Fluvial Material Consisting of Stratified Sands and Gravel
D	Distributary	Gently Sloping to West, Fan Shape with Relatively Low Relief	Limited Evidence of Agricultural Activity, Natural Vegetation Inferred to Consist Primarily of Grass		Alluvial Fan: Unconsolidated Alluvial Material Consisting of Sands and Gravel
E	Grossly Dendritic with Some Parallelism of Drainage Produced by Structural Control	Mountainous Terrain with Relatively High Relief, Evidence of Linearity and Structural Control Exists	No Evidence of Agricultural Activity or Extensive Natural Vegetation, Image Texture Indicative of Limited Forest Cover	Linear Tonal Contrasts Indicative of Gross Bedrock Stratification and Regional Dip	Mountains: Resistant Bedrock Inferred to be of Sedimentary Origin
F	Dendritic	Mountainous Terrain with Relatively High Relief	No Evidence of Agricultural Activity, Image Texture Indicative of Forest Cover	Area Exhibit: Rounded Form with Sharp Crests Less Prevalent Than in Area (E), Some Evidence of Linearity	Mountains: Resistant Bedrock Inferred to be of Sedimentary Origin, Bedrock Perhaps Less Resistant Than That Delineated in Area (E)

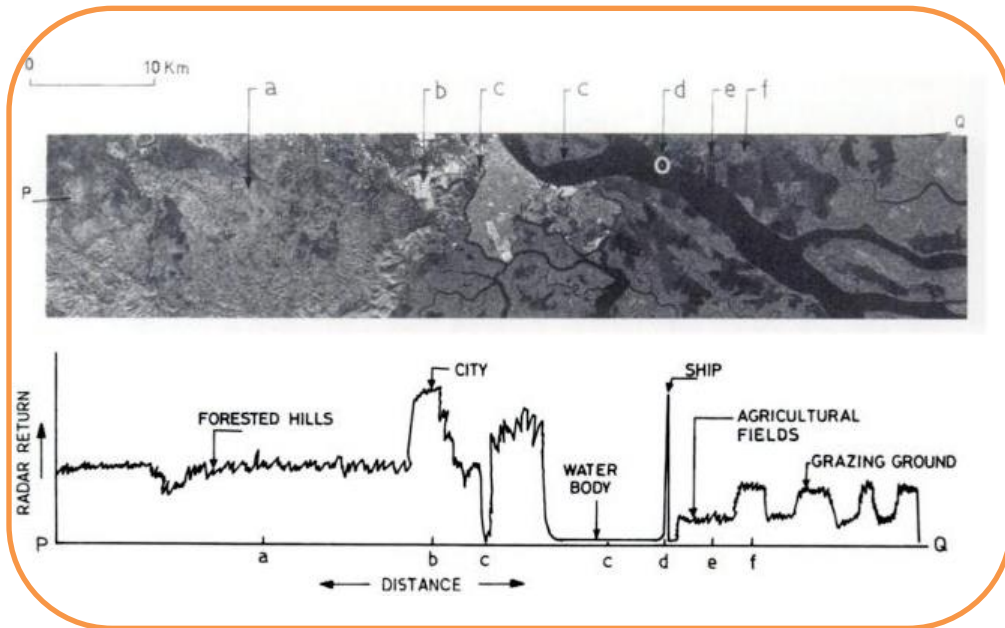
slika 10 – interpretacija radarske slike

Na osnovu prethodno definisanih šema povratnih signala koje se odnose na drenažu, topografiju i korišćenje zemljišta, moguće je izvršiti kompletnu kvalitativnu analizu radarske slike (slika 10). Na radarskoj slici se uzimaju određene tačke, koje predstavljaju oblasti od interesa, za koje će se raditi interpretacija i na osnovu prethodno objašnjenih šema povratnih signala se donose zaključci u vezi sa lokalnom drenažom, regionalnom topografijom, korišćenjem zemljišta, tipu zemljišta i određenim specifičnim uslovima.

1.9 Radiometrijske karakteristike SLAR radara

Radiometrijske karakteristike SLAR radara se mogu definisati na osnovu sledećih primera:

Primer 1:



slika 11 - SLAR slika oblasti Ekvadora (slika kreirana od strane C.Elachi and J.P. Ford, Jet Propulsion Laboratory)

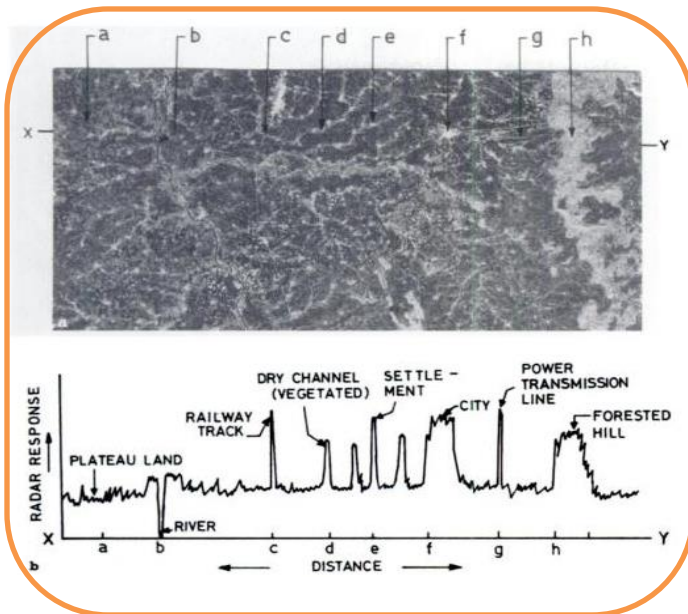
- a) šumovita brda (*difuzno rasejanje*);
- b) grad Guayaquil (*uglovno odbijanje*);
- c) reka Guayas (*spekularna refleksija*);
- d) brod (*uglovno odbijanje*);
- e) agrikulturna polja – polja pirinča (*slična spekularnoj refleksiji*);
- f) pašnjaci (*difuzno rasejanje*).

Po tvrdnjama Ravi P. Gupte, eho od objekata ili površine se prima od strane antene, pojačava i evidentira. Na SLAR slici, intezitet ovog eha se prikazuje nijansama sive boje, tako da, oblasti koje proizvode jači povratni signal, se prikazuju svetlijim nijansama. Najčešći tipovi odgovora na SLAR slikama su sledeći:

- 1) dufuzno rasejanje (*diffused scattering*) – najveći deo površine na SLAR slikama je povezan sa difuznim rasejanjem zbog neravne površine i vegetacije (lišće, grane i grančice). Ti objekti se nazivaju i difuzni rasejači koji proizvode srednje-jaka eha.

- 2) uglovno odbijanje (*corner reflection*) – javlja se kada objekat ima pravougaoni oblik kao što su vertikalni zidovi koji su spojeni sa drugim zidovima, krovovima ili zemljom pod pravim uglovima. Ovo dovodi do eha velike jačine. Ovakva refleksija se isključivo povezuje sa zgradama, brodovima, brdima sa oštrim ivicama itd.
- 3) spekularna refleksija (*specular reflection*) – refleksija koja je karakteristična za refleksiju od vodene površi, koja prouzrokuje eha jako male jačine, samim tim i na slici se vodena površina prikazuje tamnom nijansom sive boje.
- 4) tvrdi objekti (*metalni objekti – hard objects*) – neki, veoma jaki odgovori koji se prepoznaju dolaze od “jakih objekata”, kao što su metalni objekti ili zgrade. Metalni objekti proizvode eho velike jačine zbog njihove visoke dielektrične konstante. Mostovi, automobili, dalekovodi, pruge i globalno svi metalni objekti se veoma lako mogu identifikovati na radarskim slikama.

Primer 2:



slika 12 - SLAR slika oblasti u Indiji (slika kreirana od strane C.Elachi and J.P. Ford, Jet Propulsion Laboratory):

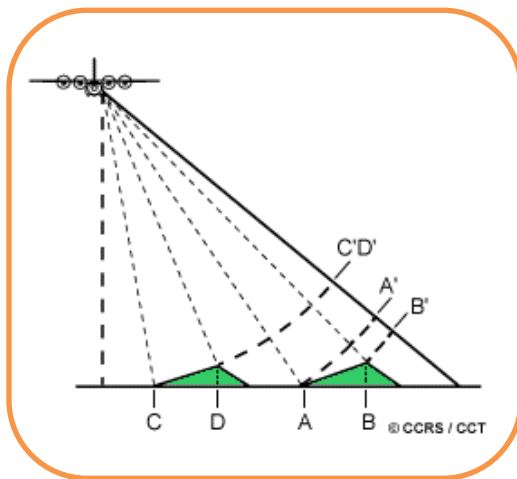
- a) plato sa proređenom vegetacijom (*difuzno rasejanje niskog inteziteta*);
- b) reka Mahanadi (*spekularna refleksija*);
- c) pruga (*metalni objekat – tvrdi, jaki objekat*);
- d) suv kanal ispunjen vegetacijom (*difuzno rasejanje*);
- e) naselje (*uglovno odbijanje*);
- f) grad (*uglovno odbijanje*);
- g) dalekovod – (*metalni objekat*);
- h) šumovita brda (*difuzno rasejanje i uglovno odbijanje*).

1.10 Geometrijske karakteristike SLAR radara

Geometrija radarskih slika se razlikuje od geometrije obe vrste optičkih senzorskih podataka (fotografije i skenerske slike). Osnovna razlika se zasniva na tome da se pozicije objekata na radarskim slikama zasnivaju više na rastojanjima (distanicama) nego na uglovima. Osnovne geometrijske distorzije (iskrivljenosti) koje u manjoj ili većoj meri utiču na interpretaciju i aplikacije radarskih slika su sledeće (Leberl 1998):

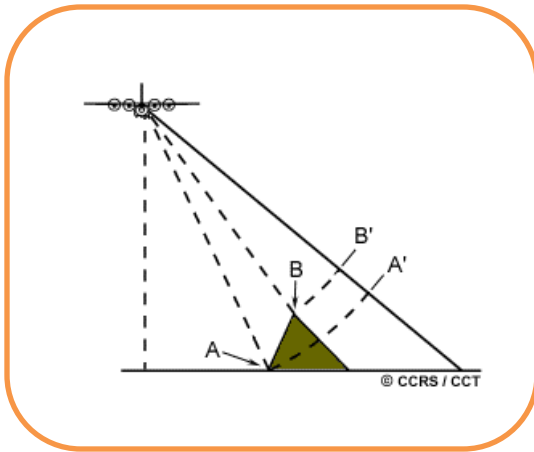
- 1) *pomeranje slike usled reljefa* – SLAR sistem isključivo radi sa kosim dužinama. Ako je površina terena ravna, slika sa sobom povlači nelinearna geometrijska izobličenja koja ne predstavljaju veliki problem prilikom njihovog ispravljanja.

Foreshortening se javlja svaki put kada je radarski talasni front strmiji od nagiba na terenu koji je osvetljen zracima antene, u slučajevima kada radarski snop prvo dostigne dno planine, a tek onda njen vrh. Posto radar meri rastojanje u kosom smislu, nagib od tačke A do tačke B će biti ‘sabijen’ i dužina nagiba će se predstaviti pogrešno (od A' do B') na slici. U zavisnosti od odnosa nagiba planine i ugla radarskog snopa, intezitet ove pojave će varirati. Maksimalni *foreshortening* će se javiti kada je radarski snop normalan na nagib planine, tako da se dno i vrh planine snimaju istovremeno (od C do D), pri čemu će se dužina nagiba svesti na nulu u kosom smislu (C' do D').



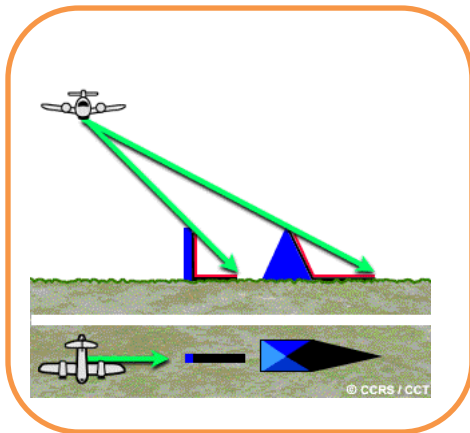
slika 13 – pojava foreshortening-a

Layover se javlja u situacijama kada radarski snop prvo dostigne vrh planine (tačka B), pa tek onda njeno dno (tačka A), pri čemu će se prvo primiti signal iz tačke B nego iz tačke A. Rezultat ove pojave je taj da će vrh planine biti raseljen u odnosu na njegovu stvarnu poziciju. Efekti *layover-a* su u mnogome slični efektima *foreshortening-a*.



slika 14 - pojava layover-a

Pojave i efekti *foreshortening-a* i *layover-a* utiču na stvaranje senke na radarskim slikama. Radarske senke nastaju kada radarski snop nije u stanju da osvetli površinu zemlje [5]. Pojava senke je isključivo vezana za planinske terene, odnosno za objekte sa strmim stranama i velikim nagibima. Pošto radarski snop ne osvetljava površinu terena, zasenčene oblasti će se pojaviti u nijansama crne boje na radarskoj slici. Kako se upadni uglovi povećavaju od bliskog ka dalekom dometu, tako će i efekti senke postajati sve veći i veći na površini.



slika 15 – pojava radarske senke – crvene površine su potpuno zasenčene



slika 16 – zasenčene oblasti na radarskoj slici koje ne nose nikakve informacije

Iako geometrija SLAR slike prouzrokuje pojave izobličenja, kao što su *foreshortening*, *layover* ili *radarske senke*, upravo takva geometrija radarske slike omogućava efikasnu analizu terena. Ove pojave, ukoliko nisu suviše ekstremne, mogu još više da poboljšaju vizualni izgled reljefa i strukturu terena, tako da radarske slike predstavljaju veoma dobru osnovu za analizu terena, topografsko mapiranje i identifikovanje geološke strukture terena.

Literatura:

- [1] Use of Side-Looking Airborne Radar (SLAR) imagery for engineering soil studies by Dr. David J. Barr, September 1969.
- [2] Andieus, A., 1961, ABC's of Radar, Indianapolis, Indiana: Howard W. Sams and Co., Inc.
- [3] Beatty, F. D., 1965, "Geoscience Potentials of Side-Looking Radar," Raytheon Autometric Corporation, Contract No. DA-44-009-AMC-1040(X) with U. S. Army Corps of Engineers, Alexandria, Virginia.
- [4] Beccasio, A. D. and J. H. Simons, 1965, "Regional Geologic Interpretations from Side-Looking Airborne Radar," Photogrammetric Engineering, Vol. XXXI (3), p. 507 (Abstract).
- [5] Beckman, P., 1965, "Scattering by Composite Rough Surfaces," Proceedings of the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Vol. 53 (8), pp. 1012-1015.
- [6] Bienvenu, L. R., 1961, "Interpretation of Geologic Features from SLAR," Photogrammetric Engineering, Vol. XXVII (2), p. 488 (Abstract).
- [7] Bienvenu, L. R. and R. Pascucci, 1962, "Engineering Geology from SLR Records," Raytheon/Autometric Corporation, Alexandria, Virginia.
- [8] Moore, Rt. K., 1966, "Radar as a Sensor," CRES Report No. 61-7, University of Kansas-Center for Research, Inc..Engineering Science Division.
- [9] Parvis, M., 1950, "Drainage Pattern Significance in Airphoto Identification of Soils and Bedrocks," Highway Research Board Bulletin No. 28, National Academy of Sciences, Washington, D. C., pp. X462.
- [10] Rydstrom, H. O., 1966, "Interpreting Local Geology from Radar Imagery," Proceedings of the Fourth Symposium on the Remote Sensing of Environment, April 12.14, 1966, University of Michigan, pp. 193-201.
- [11] Simonett, D. S., Eagleman, J. E., Erhart, A. B., Rhodes, D. C. and D. E. Schwarz, 1967, The Potential of Radar as a Remote Sensor in Agriculture: 1. A Study with K-Band Imagery in Western Kansas," CRES Report No. 61-21, University of Kansas-Center for Research, Inc.-Engineering Science Division.