
SLIKOVNI RADAR IN RADARSKA INTERFEROMETRIJA

Darko Trlep

Rudnik Žirovski vrh, Gorenja vas

Prispelo za objavo: 1997-01-23

Pripravljeno za objavo: 1997-05-08

Izvilleček

V članku so predstavljena osnovna načela slikovnega radarja in radarske interferometrije. Prikazana sta satelitski in letalski slikovni radar. Članek obravnava tudi različne možnosti uporabe slikovnega radarja in radarskih podob.

Ključne besede: center za daljinsko zaznavanje, radarska interferometrija, radarska podoba, prostorski podatki, slikovni radar

Abstract

In this article the basic principles of imaging radar and radar interferometry are described. Outlined are spaceborne and airborne imaging radar. Different applications of the imaging radar and radar images are presented as well.

Keywords: imaging radar, radar image, radar interferometry, remote sensing center, spatial data

1 UVOD

Med sodobne tehnologije satelitskega daljinskega zaznavanja štejemo tudi slikovni radar. Osnovna prednost slikovnega radarja je, da za razliko od fotogrametričnih metod omogoča registracijo površine Zemlje skozi oblake in meglo, podnevi in ponoči. Slikovni radar v literaturi označujejo s Synthetic Aperture Radar (SAR) ali poenostavljeno slikovni instrument s sintetičnim odprtinskim radarjem (Freeman, 1996, Oštir-Sedej et al., 1996). Slikovni radar in metode radarske interferometrije razvijajo v Kalifornijskem institutu za tehnologijo (Californian Institute of Tehnology) v Laboratoriju za reaktivne pogone (Jet Propulsion Laboratory), ki deluje pod okriljem ameriške vesoljske agencije NASA (National Aeronautics and Space Administration) v Pasadeni, v Kaliforniji. Pri razvoju sodelujejo tudi evropski strokovnjaki Nemške vesoljske agencije (Deutsche Agentur fuer Raumfahrtangelegenheit - DASA) in Italijanske vesoljske agencije (Agenzia Spaziale Italiana - ASI).

Neodvisno od slikovnega radarskega programa NASA potekajo zadevne aktivnosti tudi v drugih državah. Vse navedene aktivnosti slikovnih radarskih sistemov se vključujejo v ustrezen program mednarodnega komiteja za satelitska opazovanja Zemlje CEOS (Committee for Earth Observation Satellites), v katerem

je za čas od leta 1994 do leta 2008 predvideno skupno več kot 100 aktivnosti satelitskega opazovanja Zemlje. V lanskem letu je raketoplan Space Shuttle Endeavour sistematično snemal celotno površino Zemlje s to tehnologijo (Leberl, Kalliany, 1996). S pričujočim tekstom bom skušal povzeti osnovne značilnosti slikovnih radarskih sistemov in radarske interferometrije na osnovi razpoložljivega gradiva, za zaključek pa bom dodal še svoje ugotovitve in mnenje o uporabnosti slikovnega radarskega sistema v geodetski informatiki.

2 OSNOVNI NAČINI DELOVANJA SLIKOVNEGA RADARJA IN RADARSKE INTERFEROMETRIJE

Običajni radar (Radio Detection and Ranging) deluje na osnovi oddajanja zelo kratkih visokofrekvenčnih signalov. Mikrovalovi se odbijajo od ovire in se deloma vračajo prek sprejemne antene v radar. Radar oziroma radarska antena izmenoma oddaja in sprejema polarizirane signale mikrovalovnih dolžin od 0,01 m do 1,00 m, kar ustreza frekvenčnemu območju 30 GHz do 30 MHz. Mikrovalovi so polarizirani v vertikalni in horizontalni ravnini. Tudi oddajni in odbiti signal sta polarizirana različno. Radar (tudi slikovni) odda približno 1 500 signalov v 1 sekundi; vsak od teh signalov pa traja 10 - 15 mikrosekund.

2.1 Slikovni radar

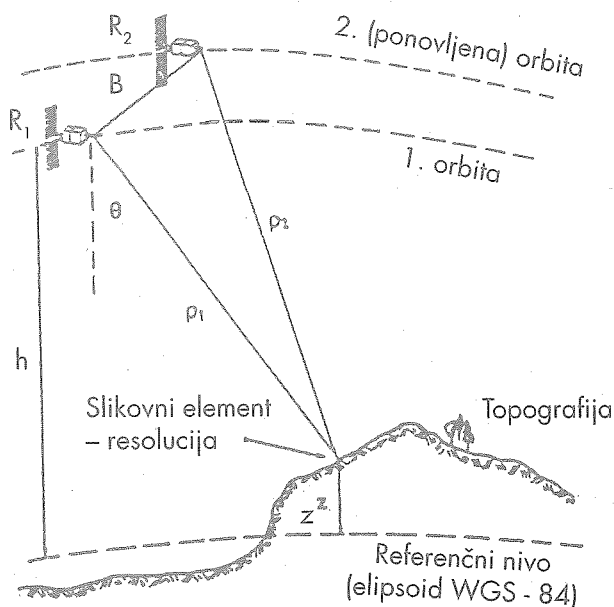
Slikovni radarski instrumenti delujejo podobno kot fotoaparat z bliskavico. Pri slikovnem radarju imamo namesto bliskavice oddajno anteno, ki oddaja kratkovalovne signale. Ti se deloma odbijejo od ovire oziroma objekta in se prek sprejemne antene vrnejo v radar, kjer se zapišejo v računalniški pomnilnik ter kasneje obdelajo do radarske podobe - interferograma (Halsema, Hanssen, 1996). Ker se slikovni radar premika relativno glede na zemeljsko površino, prihaja do zamika odbitih mikrovalovnih impulzov (Dopplerjev efekt). Ta zamik se odpravi s posebnim postopkom SAR s pomočjo hitrih in zmogljivih računalnikov.

2.2 Radarska interferometrija

Radarski instrument SAR oddaja mikrovalovne signale prek antene na Zemljo. Ti signali se na zemeljski površini odbijejo. Majhen del odbitih in razpršenih radarskih mikrovalovnih signalov se prek antene vrne v radar in njegov računalniški procesor. Antena SAR oziroma računalnik registrira amplitudo (odvisno od intenzitete razpršenosti) in fazo odbitega radarskega signala. Osnovno geometrijo slikovnega radarja oziroma radarske interferometrije vidimo na sliki 1 (Halsema, Hanssen, 1996).

Oznake na sliki 1 pomenijo:

- R1 in R2 = radarski anteni na ločenih satelitih (ali istem letalu)
- B = interferometrična baza ($B = 2,5$ m na letalu)
- h = višina leta plovila
- r = razdalja med radarjem in točko na površini Zemlje
- q = vpadni kot (kot gledanja)
- z = lokalna višina točke na zemeljski površini



Slika 1: Geometrija slikovnega radarja in radarske interferometrije

O radarski interferometriji govorimo, ko pride pri računalniški obdelavi odbitih mikrovalovnih signalov dveh različnih posnetkov SAR istega terena (slikovnega elementa) do interference obeh valovanj. Interferenca nastopi, ko sta radarska posnetka posneta iz neznatno različnih položajev ali v različnem časovnem obdobju. Zaradi ponavljajoče tirnice govorimo o načelu ponavljajoče pasovne interferometrije (Halsema, Hansen, 1996).

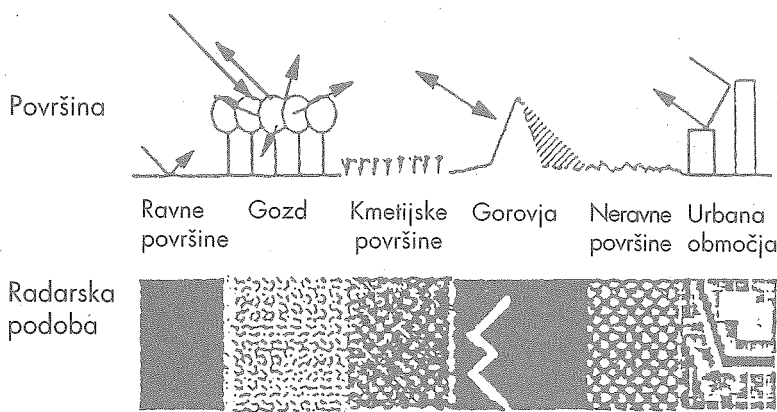
2.3 Radarska podoba

Radarska podoba (ali interferogram) je sestavljena iz velikega števila pik - slikovnih elementov. Vsaka taka točka na radarski sliki predstavlja odbite razpršene radarske signale, ki so se odbili od zemeljske površine ali objektov na njej. Temnejše ploskve na radarski sliki predstavljajo nižjo razpršenost, svetlejše ploskve pa višjo razpršenost odbitih razpršenih radarskih signalov. Svetle lise na radarski sliki pomenijo, da se je velik del radarske energije odbil nazaj v radar. Temne lise pa pomenijo, da je radar sprejel le majhen del odbitih impulzov (Freeman, 1996).

Na razpršenost povratnih impulzov vplivajo:

- nagnjenost terena, od katerega se odbijajo: ravninske površine vračajo malo mikrovalovne energije, zato so prikazane na radarskem posnetku temne. Površine, ki so nagnjene k radarju, imajo močnejšo razpršitev odbitih impulzov kakor površine, nagnjene od radarja, zato so tudi svetlejše. Tudi površine, ki jih radarski impulzi ne osvetlijo, se na radarski sliki kažejo temne (npr. senčna stran gora);
- vpadni kot radarskih valov: na splošno velja, da razpršenost odbitih signalov pojema z naraščanjem vpadnega kota;

- vsebnost vode v objektu: mokri objekti so na radarski sliki svetlejši, suhi so temnejši; podobno so z različnimi sivimi toni prikazana vegetacija in urbanizirana območja;
- polarizacija odbitih signalov: H horizontalna, V vertikalna polarizacija oziroma kombinacija obeh: VV, HV in VH.



Slika 2: Prikaz različnih tipov površine na radarski podobi

3 NASIN PROJEKT SLIKOVNEGA RADARJA

Ameriška vesoljska agencija NASA razvija projekt slikovnega radarja v dveh ločenih sistemih, ki se v osnovi razlikujeta glede na število radarskih anten in vrsto plovila, ki nosi tak radar, ter višino leta plovila.

3.1 Vesoljski slikovni radar

Nameščen je na raketoplan Space Shuttle Endeavour in ima eno samo radarsko anteno. Plovilo kroži po tirnici več 100 km nad površino Zemlje. Antena SAR meri 12 m x 4 m. Vesoljski radar je namenjen snemanju večjih območij z velikih višin (od 200 do 800 km). Radarski posnetek pokrije območje do 100 x 100 km z moderirano ločljivostjo 10 - 20 m.

Zgoščen pregled različnih satelitskih radarjev ameriške vesoljske agencije NASA z njihovimi osnovnimi podatki je razviden iz spodnje preglednice 1.

radar	leto	valovni pas	λ	frekvenca	polarizacija	nastavitev
SEASAT	1978	L	24 cm	ena	enojna	fiksna
SIR-A	1981	L	24 cm	ena	enojna	fiksna
SIR-B	1984	L	24 cm	ena	enojna	gibljiva
SIR-C/X-SAR	1994	L	24 cm	tri	četverna	gibljiva
		C	6 cm		enojna	
		X	3 cm			

Preglednica 1

SIR-C/X-SAR deluje s po tremi mikrovalovi različnih valovnih dolžin, s četverno polarizacijo in spremenljivim kotom nastavitve radarja med 20 in 65 stopinjami. Antena slikovnega SIR-C/X-SAR radarja je sestavljena iz treh delov (za vsak valovni pas eden). Tipična slika takega radarja obsega 50 km x 100 km (What is ..., 1996).

3.2 Letalski slikovni radar

Slikovni radarji tega tipa so nameščeni na posebej preurejenem letalu DC-8. Poznamo jih z oznakami AIRSAR ali TOPSAR. Značilni sta dve anteni. Letalo leti na višini 8 000 m. Radar deluje s sočasnim zbiranjem in s četverno polarizacijo za tri frekvence: L - valovno območje ($\lambda = 24$ cm), C - valovni pas ($\lambda = 6$ cm) in P - valovi ($\lambda = 68$ cm) (AIRSAR, 1996).

AIRSAR/TOPSAR radarski posnetek obsega območje 12 km x 12 km z ločljivostjo 10 m v obeh smereh. Tak posnetek dosega na splošno visoko višinsko natančnost (1m za ravninska območja, 5m v hribovitem svetu). Radarski posnetki tega tipa so namenjeni univerzalnemu kartiranju zemeljske površine (Global Mapping).

4 PREGLED RADARJEV SAR

Neodvisno od projekta slikovnega laserja, ki ga razvija NASA, potekajo o tem aktivnosti tudi v drugih državah. Raziskave slikovnega radarja tudi tu razvijajo vzporedno z vesoljskimi raziskavami. Omenim naj kanadski RADARSAT, evropska satelita za daljinsko zaznavanje ERS-1 in ERS-2, ki ju razvija Evropska vesoljska agencija (ESA) in japonski slikovni radar J-ERS-1. Vsi navedeni radarski instrumenti uporabljajo tehnologijo slikovnega radarja SAR. Kanadski radarski satelit RADARSAT, ki je poletel konec leta 1995, je posredoval strokovnjakom podatke, s katerimi so dosegli visoko ločljivost slikovnega elementa 10 m. Zaradi tega lahko štejemo RADARSAT za aktivni radar novejše generacije.

Preglednica 2 nam kaže pregled različnih satelitskih slikovnih radarjev (izjema je AIRSAR) po državah proizvajalkah in njihove osnovne značilnosti. Ločljivost 10 m omogoča proučevanje majhnih detajlov na površini Zemlje in doseganje visoke natančnosti (nekaj cm), kar brez dvoma napoveduje večji razmah in komercializacijo SAR-tehnologije. V letu 1996 je Ameriška vesoljska agencija s pomočjo raketoplana Endeavour in na njem nameščenega slikovnega radarja sistematično snemala celotno površino Zemlje. (Leberl, Kalliany, 1996).

SAR sensor	država	velikost območja	ločljivost
ERS	Evropa	100 x 100 km	30 metrov
JERS-1	Japonska	75 x 75 km	18 metrov
SIR-C/X-SAR	ZDA	100 x 100 km	10 - 20 metrov
AIRSAR-letalo	ZDA	12 x 12 km	10 metrov
RADARSAT	Kanada	50 x 50 km	10 metrov

Preglednica 2

5 UPORABNOST SLIKOVNEGA RADARJA

Osnovna prednost slikovnega radarja je v primerjavi z optičnimi sistemi, da omogoča opazovanje Zemlje skozi oblake in meglo, neodvisno od sončne osvetljenosti snemane površine. Prednost daje slikovnemu radarju tudi metrična obdelava (npr. DMR) in ne samo vidna obdelava (fotointerpretacija) podatkov. Radarsko interferometrijo lahko uporabimo tudi kot dopolnilo klasičnim geodetskim metodam, npr. pri terestičnih višinskih meritvah ali pri izdelavi in ažuriranju topografskih kart, še posebno v kombinaciji z meritvami GPS-ja.

Ocenjujem, da je radarska tehnologija SAR primerna pri obdelavi naslednjih nalog in pojavov:

- ☐ izdelavi digitalnega modela reliefa
- ☐ spremembi na zemeljski površini kot posledici delovanja zemeljskih potresov
- ☐ spremembi na topografiji po vulkanskih izbruhih
- ☐ spremembi vzdolž tektonskih plošč
- ☐ študiju pojavov na morjih ali s snegom pokritih območjih
- ☐ spremembi zaradi različnih posedanj (meritev deformacij)
- ☐ viru informacij za izdelavo kart in zemljevidov
- ☐ ažuriranju topografskih kart.

Posnetki, ki jih dobimo z uporabo radarske tehnologije SAR, so odličen pripomoček pri interpretiranju stanja na površini Zemlje, saj nam za izbrano območje nudijo veliko število informacij o prostoru, npr. pri:

- ☐ analiziranju stanja v prostoru v določenem času
- ☐ inventarizaciji prostora (npr. raba površin, pedologija), zlasti na območjih z veliko oblačnosti
- ☐ proučevanju izginjanja gozda, širjenja puščav ipd.
- ☐ proučevanju zadrževanja zemeljske vlažnosti
- ☐ prostorskem planiranju večjih območij ipd.
- ☐ splošnem nadzoru okolja in njegovem varstvu.

6 PRIMERI UPORABE SLIKOVNEGA RADARJA

Raziskave slikovnega radarja izvajajo mnogi centri za daljinsko zaznavanje po svetu, npr. v ZDA, Italiji, Franciji, Švici, Kanadi, Rusiji in drugje. Ameriški strokovnjaki so dosegli solidne rezultate pri določanju zemeljske površine z DMR-jem, ko so na izbranem območju Ft. Irwin primerjali klasični DMR s tistim, ki so ga določili z radarsko interferometrijo SAR (standardni odklon od 2 m v ravninskem smislu in od 1 do 3 m v vertikalnem (Madsen et al., 1993)). Na Nizozemskem so s pomočjo satelitske radarske interferometrije na območju province Zeeland spremljali deformacije zemeljske površine, ki so posledica zmrzali (natančnost reda 1 cm tudi v vertikalnem smislu). Z isto metodo so proučevali posedanja terena, ki nastajajo zaradi izločanja naravnega plina (provinca Groningen) (Halsema, Hanssen, 1996).

Avtrijski kolegi so uporabili podatke slikovnega radarja za analizo hidroloških razmer in izdelavo hidrološke karte zasneženosti v visokogorju Tirolske (dolina Oetz). Z izvedbo primerjalnih testov so utemeljili uporabo slikovnega radarja in

radarske interferometrije v operativne hidrološke namene (Rott et al, 1996). Sodelavci Nacionalnega centra za daljinsko zaznavanje (National Remote Sensing Centre-NRSC), Farnborough (Velika Britanija) so podatke kanadskega slikovnega radarja RADARSAT uporabili pri inventarizaciji in kategorizaciji kmetijskih zemljišč v Angliji za znanega naročnika (Ministrstvo za kmetijstvo Velike Britanije), (Sowter et. al., 1996).

Tudi slovenski strokovnjaki so se že srečali z radarsko interferometrijo in radarskimi podobami. Prve poskuse uporabe te tehnologije za potrebe daljinskega zaznavanja so izvedli sodelavci Prostorskega informacijskega centra pri ZRC SAZU (Oštir-Sedej et al., 1996) in sodelavci podobne enote Zavoda Republike Slovenije za statistiko.

7 ZAKLJUČEK

Čeprav sta slikovni radar SAR in radarska interferometrija mladi tehnologiji, lahko trdimo, da obdobje slikovnega radarja šele prihaja. Komercializacija radarskih podatkov SAR bo v prihodnosti omogočila široko uporabo ne samo na geodetskih področjih, ampak tudi na drugih (npr. geologija, inventarizacija prostora, planiranje ipd.). Strokovnjaki ocenjujejo, da bo cena radarskih izdelkov SAR že v bližnji prihodnosti relativno ugodna, posebno v odnosu do sorazmerno velike količine informacij, ki nam jih lahko posreduje neki interferogram SAR. Od velikosti ločljivosti slikovnega elementa in stopnje obdelanosti podatkov je odvisna njihova cena. Povprečna cena radarske podobe za 1 km² je približno 1 USD, kar glede na veliko količino podatkov niti ni preveč (Halsema, Hanssen, 1996).

Čeprav je Slovenija majhna država, sem prepričan, da bi lahko slikovni radar in radarsko interferometrijo uporabljali tudi pri nas. Glede na velikost države bi bilo število radarskih posnetkov (npr. 100 km x 100 km) majhno. Ocenjujem, da 5 do 6 takih posnetkov. Kakor drugi satelitski podatki za potrebe daljinskega zaznavanja so tudi podatki slikovnega radarja dostopni neposredno pri lastniku teh podatkov prek ustreznih bank prostorskih podatkov ali pri uradnih zastopnikih. Podatki so na voljo v različnih stopnjah obdelave (neobdelani, sistemsko urejeni, geokodirani podatki s kartografsko projekcijo itd.) (Beckel, 1996).

V naših razmerah bi dal prednost uporabi slikovnega radarja v kartografiji, inventarizaciji prostora, inženirski geodeziji (npr. spremljava tektonskih premikov) in varstvu okolja. Vsekakor pa bi bila zanimiva naloga primerjava radarskega višinskega modela z že izdelanim digitalnim modelom reliefa v Sloveniji. Radarske podobe, posnete v različnem času, so lahko koristen pripomoček v izobraževanju. Uporaba slikovnega radarja in radarske interferometrije v Sloveniji zahteva ustrezno organiziranost. Morda bi tudi pri nas, po avstrijskem zgledu, ustanovili poseben Center za daljinsko zaznavanje (CDZ). Na državni ravni organiziran CDZ bi lažje pridobival ustrezna dovoljenja za obdelavo in posredovanje podatkov slikovnega radarja. CDZ bi poleg ostalih tehnik daljinskega zaznavanja dobavljal tudi izdelke tehnologije SAR. Zamisel pravzaprav ni nova, saj smo jo v strokovnih krogih zasledili že pred časom, vendar ni dobila ustrezne podpore.

Za organiziranost CDZ-ja pa bo morala poleg uporabnikov teh izdelkov, ki jih po mojem prepričanju ob primerni predstavitvi ne bi bilo malo (geodeti, kartografi,

geologi, geografi, varstveniki okolja ...), pokazati interes tudi država s svojimi institucijami (Geodetska uprava Republike Slovenije in Ministrstvo za okolje in prostor, Ministrstvo za znanost in tehnologijo, Ministrstvo za šolstvo in šport ...).

Literatura:

AIRSAR operation overview, Home page (URL):

<http://www-airsar.jpl.nasa.gov/technical/manual/overview.htm>

Beckel, L., Erdbeobachtungssatelliten: Systeme, Daten, Datenverfuegbarkeit, Datenzugriff, Kosten. Vermessung&Geoinformation, Wien, 1996, letnik 84, št. 1, str. 13-16

Freeman, T., What is Imaging Radar? Home page (URL):

<http://southport.jpl.nasa.gov/desc/imagradarv3.html>

Halsema, E., Hanssen, R., Radar Interferometry - A New Tool for Accurate Height Modelling.

Geodetical Info Magazine, Lemmer, 1996, letnik 10, št. 1, str. 27-31

Leber, F., Kalliany, R., Innovationen in Sensortechnik und Datennetzwerken.

Vermessung&Geoinformation, Wien, 1996, letnik 84, št. 1, str. 6-13

Madsen, S.N. et al., Analysis and Evaluation of the NASA/JPL

TOPSAR Across-track Interferometric SAR System, IEEE Transactions for Geoscience and Remote Sensing, Pasadena, 1993, str. 1-30

Oštir-Sedej, K. et al., Uporaba radarskih satelitskih posnetkov v prostorskih znanostih. Geodetski vestnik, Ljubljana, 1996, letnik 40, št. 1, str. 27-35

Rott, H. et al., Anwendungen der Fernkundung fuer die Schneehydrologie.

Vermessung&Geoinformation, Wien, 1996, letnik 84, št. 1, str. 51-54

Sowter, A. et al., Radarsat signals as change of GIS, GIS Europe, September 1996, str. 18-19

What is SIR-C/X-SAR? Home page (URL): <http://southport.jpl.nasa.gov/desc/SIRCdesc.html>

Recenzija: Andrej Bilc

mag. Janez Oven