

PRIMJENA DALJINSKIH ISTRAŽIVANJA, FOTOGRAMetriJE I GIS-a U RAZMINIRAVANJU TERITORIJA RH

Sažetak: Zagađenost minama je jedno od najtežih nasljeđa rata koje za sobom ostavlja posljedice dugi niz godina. Redukcija površina kontaminiranih minama multidisciplinarna je zadaća u kojoj svoje mjesto nalaze i daljinska istraživanja i fotogrametrija i GIS. U ovom trenutku, u RH se u okviru dvaju projekata koje financira Europska komisija istražuju i verificiraju metode i alati koji bi omogućili smanjivanje sumnjivih površina bez izravnog kontakta sa tlom. Radi se o uporabi zrakoplovnih senzora (digitalnih kamera, radara sa sintetičkom antenom), naprednih tehnologija objektivne interoretacije (združivanje podataka, posredovanje znanja, integracija kontekstualnih informacija), te GIS-a kao integratora podataka. U projektima sudjeluju hrvatski timovi, s istaknutim doprinosom Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. U radu su prikazane osnovne ideje primjene daljinskih istraživanja, fotogrametrije i GIS-a u službi razminiranja, sa primjerima iz

1. UVOD – Minski problem u Republici

Zagađenost minama i minskoeksplozivnim sredstvima gorući je problem u svim ratom pogođenim zemljama širom svijeta, i jedno od najtežih nasljeđa rata koje za sobom ostavlja posljedice dugi niz godina. Realna je procjena da je na teritoriju Republike Hrvatske položeno oko milijun mina i drugih zaostalih neeksploziviranih ubojnih sredstava, što Hrvatsku svrstava među deset zemalja svijeta najzagađenijih minama. Ukupna površina za koju se sumnja da je minski zagađena prosuđuje se na 4500 km², unutar te površine oko 600 km² skriva potencijalna minska polja, a ostatak zaostala pojedinačna ubojna sredstva. Republika Hrvatska obvezala se na uklanjanje svih spomenutih sredstava do 2010. godine.

2. Daljinska istraživanja i fotogrametrija u

U rješavanju spomenutog minskog problema vrlo aktivno uključila su se i daljinska istraživanja (DI), znanost i tehnologija uporabe senzora elektromagnetskih zračenja za registriranje slika objekta, koje se mogu interpretirati i tako pridobiti korisne informacije o objektu. DI koriste

fotogrametriju kao vrlo efikasan alat u humanom razminiravanju. Fotogrametrija u ovom slučaju služi za dobivanje pouzdanih prostornih podataka o terenu i objektima na njemu iz velikog broja snimaka dobivenih različitim sustavima senzora. Redukcija površina kontaminiranih minama multidisciplinarna je zadaća u kojoj svoje mjesto nalaze i DI i fotogrametrija i GIS.

[1] je prvi pregled stanja potreba Hrvatske za prostornim informacijama u humanitarnom razminiravanju, objavljen na međunarodnom znanstvenom skupu. U [2] je iznešen i obrazložen prijedlog da se žurno poradi na uvođenju digitalnih ortofoto zemljovida kao najdjelotvornijeg rješenja za humanitarno razminiranje, izrađen je demonstrator tehnologije, primjer [3], a u [4] se ta ideja razrađuje i ilustrira. U ovom trenutku, u Republici Hrvatskoj se u okviru dvaju projekata [5] i [6], koje financira Europska komisija, istražuju i verificiraju metode i alati koji bi omogućili smanjivanje sumnjivih površina bez izravnog kontakta s tlom. Instrumentarij koji se koristi za prikupljanje podataka o sceni je multisenzorski i multispektralni, što znači da se ista područja snimaju različitim sustavima senzora, Tab. 1 i Tab. 2. Sve snimke trebaju na kraju obrade biti

	Spektralno razlučivanje	Prostorno razlučivanje	Slika polja snimanja (uključna)	Radnometrsko razlučivanje
Daedalus Minski karte r	10 kanala između 0.380-12.7 μm 1 kanal 3-5 μm 1 kanal 8-13 μm	< 1 m	450 m (300 m)	8 bita/kanal
SAR	P-područje prija polarimetrija (HH-VV-HV-VH)	4 m	0.5 km (3000 m)	
SAR	L-područje prija polarimetrija (HH-VV-HV-VH)	2.5 m	0.5 km (3000 m)	< 2 dB
SAR	C-band (VV)	2 m	(3000 m)	
SAR	X- područje (VV)	2.5 m	0.5 km (3000 m)	< 2 dB
Fotokamera RMK	0.5 - 1.2 μm	3 do 5 cm	360 m (300 m)	foto

Tablica 1

Temeljne uporabne značajke senzora DLR-a, kojima je provedeno snimanje minskih polja u Hrvatskoj u 2001. g. u okviru znanstvenog projekta SMART

Ime senzora	Spektralno razlučivanje	Broj piksela	Fokulska dužina ili žirna polja u dublosti	Radiometrijsko razlučivanje
Orinca Tech MS3100, 4 kanalna CCD kamera	3 kanala u vidljivo područje 0.3 – 0.7 μm 1 kanal blisko infracrveno područje 0.7-0.9 μm	1390x1039	17 mm 21 mm 24 mm	8 bita/kanal (ako 4 kanala) 10 bita/kanal (ako 3 kanala)
Agema THV-1000 Termalna infracrvena kamera	8-14 μm	(150 x 560)	20° x 13.3° 5° x 3.3°	8 – 12 bita

Tablica 2

Uporabne značajke senzora kojima se provodi snimanje minskih polja u Hrvatskoj u okviru znanstvenog projekta ARC

usporedive, odnosno geokodirane na određeni referentni sustav (Gauss-Kruegerov u slučaju Republike Hrvatske) i moraju biti istih dimenzija (isti broj piksela koji prikazuju isti dio terena), kako bi se informacije dobivene različitim sensorima mogle uspoređivati, nadopuniti i što bolje valorizirati, [7], [8].

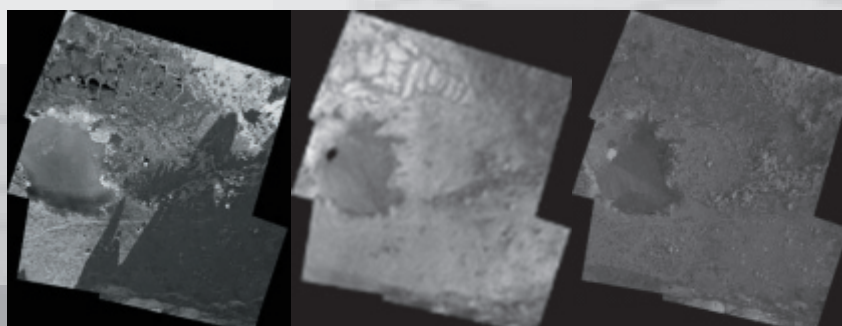
Zrakoplovno snimanje u projektu SMART, [5], izvedeno je radarom sa sintetičkom antenom ESAR, njemačke znanstvene institucije DLR, za koji je trebalo osigurati vrlo precizne položaje radarskih reflektora i baznih postaja za diferencijalni GPS [9]. Paralelno s primjenom fotogrametrije, daljinskih istraživanja, GPS-a, rade se i statističke analize prostornih značajki miniranih i očišćenih površina, primjer [10].

Naravno, snimaju se ograničena područja za koja postoje saznanja da kriju minska polja i pojedinačna neeksplozirana ubojna sredstva, kako bi se pokušalo doći do nekih zajedničkih obilježja na ovim područjima koja bi se pohranila u Minski informacijski sustav (MIS). Želja i cilj svih napora DI, fotogrametrije, GIS-a i svih ljudi uključenih u projekt humanog razminiranja je kvalitetan informacijski sustav (IS) koji bi sadržavao sve relevantne podatke, alate i metode efikasne detekcije sumnjivih površina bez izravnog kontakta s tlom, a što bi imalo za rezultat brže i sigurnije rješavanje minskog problema u Hrvatskoj. Ovi projekti okupljaju stručnjake raznih profila (elektrotehničare, šumare, agronome, geodete, pilote, pravnike, političare iz zemlje i svijeta) koji u procesu dobivanja korisnih informacija, koje će u konačnici dovesti do maksimalne redukcije ili potpune eliminacije područja zagađenog minama u Republici Hrvatskoj, mogu pomoći, svatko u svom području.

3. Geokodiranje i ortofoto u službi

Vrlo bitna stvar u ovim projektima jeste transformacija, odnosno geokodiranje, koje moraju proći svi snimljeni materijali kako bi bili mjerljivi i međusobno usporedivi, te kako bi spomenuti IS imao što više korisnih nivoa na osnovu kojih bi "sustav donosio odluke". Već je spomenuto da se ista, izdvojena područja, snimaju sa različitim senzorskim sustavima i vremenski razmaknutim kampanjama, te različitim rezolucijama. Da bi se neka snimka mogla geokodirati, na terenu treba provesti markaciju točaka koje će se vidjeti na snimkama, a čije će zemljišne koordinate biti poznate, ili treba posjedovati prostorno orijentiranu geodetsku podlogu. Način i rezultati tih radova u okviru SMART projekta dani su u [9]. Točnost geokodiranja nužna je za uklapanje snimaka istih područja dobivenih različitim sensorima, kako bi se iz svih snimaka istog područja dobio maksimum korisnih informacija o sceni.

Ortofoto je fotogrametrijski produkt koji daje najbolji uvid u stanje na terenu, pod uvjetom da su snimke suvremene i da je digitalni model terena izrađen iz mjernog fotogrametrijskog modela čija se točnost može ispitati i verificirati. Prvi rad koji obrađuje problematiku perspektive ortofota unutar DI prezentirali su prof.dr. Teodor Fiedler, prof.dr. Milan Bajić i mr.sc. Damir Goršeta 1998. godine, [1]. Tada, taj rad nije pobudio veće zanimanje niti razumijevanje ljudi involviranih u ovaj problem. Danas, razvojem računala i programske podrške, te digitalne fotogrametrije (i digitalne tehnologije uopće), ovaj fotogrametrijski produkt postao je jako



a – DOF 1:5000 dijela Velebita; b – geokodirani mozaik načinjen od termalnih snimki (8-14 μm) istog područja kao i na DOF-u; c - geokodirani mozaik načinjen od snimki iz vidljivog i infracrvenog valnog područja (0.4 – 0.7-0.9 μm) istog područja kao i na DOF-u



tražena roba na tržištu uopće, a posebno pri rješavanju ovakvih kompleksnih problema kakav je minski problem u Hrvatskoj.

Za potrebe projekta ARC [6], i SMART [5], traži se produkcija ortofota u mjerilu 1 : 5000 i geokodiranih zemljovida HOK (hrvatska osnovna karta) 1 : 5000. Izvršena je valorizacija i analiza 44 digitaliziranih i geokodiranih primjeraka HOK 1 : 5000 i TK 1: 25000 od strane HCR-a [7].

4. Digitalni ortofoto

Ortofoto predstavlja rezultat prevođenja centralne projekcije u ortogonalnu projekciju. Digitalni ortofoto je digitalna fotogrametrijska snimka, ili mozaik načinjen od više digitalnih snimki, koja uz vjerno prikazivanje terena (teren izgleda kao da ga gledate iz letjelice koja nosi kameru sa svim prirodnim i umjetnim sadržajima na njemu), ima jedinstveno mjerilo na svakom svom dijelu, a dodavanjem kartografskog sadržaja na takav prikaz terena dobije se ortofoto karta. Ortofotografija ispravlja sistemske pogreške svojstvene fotoplanovima, uslijed visinskih odstupanja od razine redresiranja, jer se ovdje radi o redresiranju po visinskim zonama, odnosno svaki piksel se preslika na svoju ravninu kako bi se u konačnici dobio kvalitetan rezultat.

4.1. Izvori pogrešaka

Najvažniji izvori pogrešaka u procesu izrade digitalnog ortofota:

- q skaniranje
- r točnost orijentacijskih točaka korištenih u postupku aerotriangulacije
- q točnost digitalnog modela terena
- q žarišna duljina kamere
- q pogreške izazvane ljudskim faktorom

5. Digitalni Modeli Reljefa

U okviru projekta SMART za potrebe transformacije kosih **ESAR** radarskih snimaka u ravninu ortogonalne projekcije (ground plain) te za potrebe rektifikacije linijskih skanova nastalih **Deadalus** 12 kanalnim linijskim skanerom, neophodan je i digitalni model reljefa (DMR).

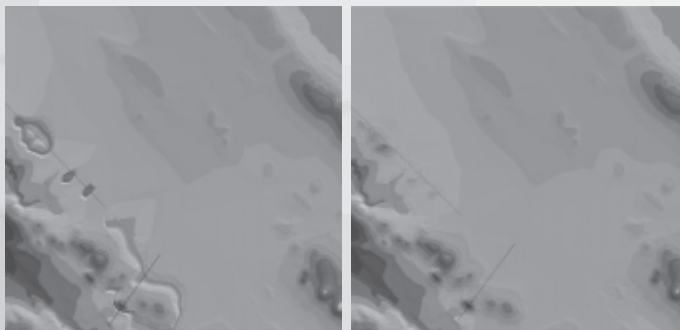
U okviru projekta koristi se DMR nastao na Hrvatskoj radio-televiziji za potrebe projektiranja sustava odašiljača i veza. Sam model dobiven je vektorizacijom topografskih karata u mjerilu 1: 25 000. Očekivana točnost takovog DMR-a trebala bi se kretati u granicama točnosti samog izvornika.

Položajna ili geometrijska točnost državnih zemljovida (u analognom ili digitalnom obliku), izražena srednjom pogreškom očitavanja koordinata s karte, mora biti manja od $\pm 0.0002 \times u$, gdje je "u" nazivnik mjerila. (DGU, 2000).

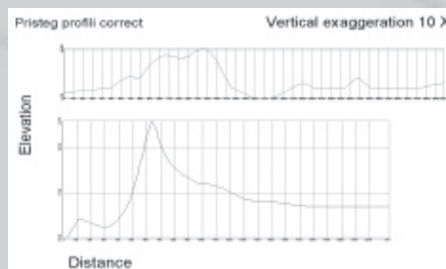
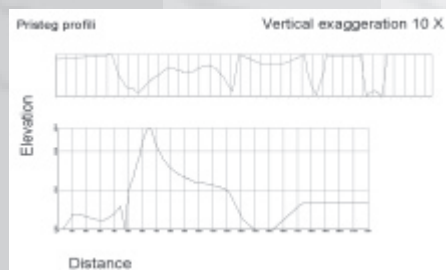
Znači za zemljovide u mjerilu 1: 25 000 položajna i visinska točnost iznosi 5m za dobro definirane točke. Izvorni podaci, za projekt SMART, su u Gauss-Kruger-ovoj projekciji sa srednjim meridijanom 16° 30', pomakom po osi Y 2 500 000 i redukcijom na

srednjem meridijanu 0.9997. Prvi korak sadržavao je transformaciju u Gauss Krugerovu projekciju za 5 i 6. zonu.

Analiza na dobivenim zemljovidima je napravljena te se na prikazanim slikama može vidjeti da je učinjeno nekoliko grubih pogrešaka koje su eliminirane intervencijom na samoj datoteci sa slojnicama.



DMR prije (1) i nakon (2) ispravljenih pogrešaka



Analiza točnosti bazira se na sljedećim kriterijima za ocjenu točnosti:

- visine digitalnog modela reljefa (DMR) koje se nalaze u blizini originalnih slojnica moraju biti jednake ili gotovo jednake vrijednosti visine na toj slojnici
- svako područje omeđeno parom slojnicama mora sadržavati točke čije se visine nalaze u rasponu visina tih dviju slojnica
- visine trebaju varirati gotovo linearno unutar visina tih dviju slojnica
- u područjima sa rijetkim informacijama o visinama, DMR visine trebaju odražavati realističnu morfologiju
- distribucija DMR visina koje odražavaju nerealističnu morfologiju trebaju biti svedene na minimum

Prva tri kriterija definirana su na osnovu pretpostavke da su slojnice osnovne informacija o visinama [11], Samom analizom DMR-a dobivena je točnost modela u usporedbi sa modelom reljefa dobivenim klasičnom fotogrametrijskom izmjerom za mjerilo 1: 5000.

6. Zaključak

Ovim člankom se želi pokazati da daljinska istraživanja nisu vezana samo za satelite i satelitske snimke, već da imaju mnogo širu primjenu, te da su jako povezana s fotogrametrijom i GIS-om. Fotogrametrijska znanja bitna su u dijelu prikupljanja i obrade prostornih podataka, jer se snimanja (prikupljanje informacija) vrše digitalnim kamerama (matričnom kamerom i linijskim skenerom) za čije stvaranje slika je bitno poznavati pravila centralne projekcije i linearnog skeniranja, te je za ozbiljnije korištenje nužna fotogrametrijska obrada (ispravljanje deformacija na snimcima dobivenih linearnim skenerom u pokretu, orijentacija snimki, mozaiciranje, ortofotografiranje, geokodiranje). GIS je najveći korisnik informacija dobivenih metodama obrađivanja snimki u daljinskim istraživanjima. Daljinska istraživanja (bilo ove vrste, bilo satelitski dio) mogu dati veliki broj različitih nivoa (layers) s različitim informacijama, te nadopunjavati neke postojeće geodetske podloge specifičnim informacijama.

Literatura

[1] Fiedler T., Bajic M., Gorseta D., 1998, **GIS for demining activities in Croatia**, zbornik radova, Joint Research Centre - European Commission, Proceedings Demining Technologies International Exhibition, Workshops and Training Seminars, 29.09. – 1.10.1998, Ispra, Italija, str.187-193.

[2] T.Fiedler, 1998, **GIS i Fotogrametrijske tehnologije**, zbornik priloga, Savjetovanje – Nove metode otkrivanja mina, Hrvatski centar za razminiranje, Sisak, 17.11.1998, str. 52-59.

[3] Biljecki Z., **Digitalni orto foto zemljovid područja Glinska poljana, u mjerilu 1:5000**, demonstracija tehnologije za HCR, Zagreb, 1999.

[4] Šiško D., **Gis za potrebe humanitarnog razminiranja**, diplomski rad, Geodetski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1999.

[5] Acheroy M., Bajic M., Bloch I., Fecher J., Galardini D., Suess H., Wolf E., et al., 2000, **Space and airborne mined area reduction tools - SMART**, European Commission Research Directorates General - project 2001. – 2003., Information society technologies programme, IST-2000-25044, Brussels, ožujak – studeni 2000. g., 74 str.

[6] Bajic M., Beckel L., Breejen E., Sahli H., Schrotmeier D., Upsal M., Varas F.J., et al., 2000, **Airborne Minefield Area Reduction - ARC**, European Commission Research Directorates General project 2001. – 2003., Information society technologies programme, IST-2000-25300, Brussels, travanj – studeni 2000. g., 134 str.

[7] A. Krtalić, T. Ciceli, 2002, **Re-georeferencing of maps used in Croatian mine center for ARC & SMART project for regions: Blinjski kut, Čeretinci, Glinska poljana and Pristeg**, technical report, University of Zagreb-Faculty for Geodesy, Institute for Photogrammetry, Zagreb, January 2002.

[8] A. Krtalić, T. Ciceli, 2002, **DEM transformations from Gauss-Krueger projection with central meridian 16°30' to 5th and 6th zone Gauss-Krueger projection**, technical report, University of Zagreb-Faculty for Geodesy, Institute for Photogrammetry, Zagreb, January 2002.

[9] T. Bašić, M. Rezo, D. Špoljarić, D. Šugar, 2001, **Tehničko izvješće o određivanju koordinata (y,x,h) kutnih reflektora i luneberg-ovih leća**, Glinska poljana i Blinjski kuti, Geodetski fakultet, Zavod za geomatiku, Zagreb, kolovoz 2001.



Milan BAJIĆ
Tomislav CICELI
Andrija KRTALIĆ

