

DIGITALNI MODEL RELIEFA IN SATELITSKE ORTOFOTO KARTE

Janko ROZMAN *

Izveček

Digitalni model reliefa je eden od osnovnih podatkovnih slojev v geografskem informacijskem sistemu. Uporabljamo ga za prikazovanje reliefa, za prostorske analize in v različnih prostorskih modelih (predvsem za simulacije). Za izdelavo digitalnega modela reliefa velikih območij lahko uporabljamo tehnologijo daljinskega zaznavanja. Iz stereoparov lahko sorazmerno hitro izračunamo digitalni model reliefa. Podobno velja tudi za izdelavo satelitskih ortofoto posnetkov. V zaključnem delu referata so nakazane nekatere možnosti uporabe digitalnega modela reliefa in satelitskih ortofoto kart.

KLJUČNE BESEDE:
geografski informacijski sistem, digitalni model reliefa, ortofoto karte, SPOT

Abstract

Digital elevation model is one of the basic coverages in a geographic information system. It is often used for relief interpretation, spatial analysis and in different simulations. The technology of remote sensing is often used in production of digital elevation models in spacious areas. From the satellite stereopairs you can produce digital elevation model in a very short time. It is the same for the satellite orthophoto maps. The use of digital elevation model and orthophoto maps will be presented in the last part of this paper.

KEY WORDS:
Geographic Information System, Digital Elevation Model, Orthophoto Maps, SPOT

185

1. GEOGRAFSKI INFORMACIJSKI SISTEMI

Poznavanje prostora je eden od osnovnih pogojev za uspešno odločanje tako na mikro kot tudi na makro nivoju. Zaradi tega potrebujemo verodostojne podatke o prostoru. Podatke, ki opisujejo in definirajo prostor, imenujemo prostorski podatki. Ti podatki se običajno zbirajo v geografskih informacijskih sistemih (v nadaljevanju GIS). To so sistemi za zajem in shranjevanje podatkov, upravljanje s podatki, izdelavo prostorskih analiz ter prikazovanje podatkov in rezultatov obdelav.

* Ministrstvo za obrambo RS,
Sektor za informatiko in komunikacije, Center za integracijo
Oddelek za geografske informacijske sisteme in računalniško grafiko

GIS je tehnologija. V sebi združuje:

- podatke, ki jih obdelujemo;
- procedure, s katerimi podatke obdelujemo, jih analiziramo;
- ljudi, ki s sistemom upravljajo in izdelujejo analize;
- strojno in programsko opremo.

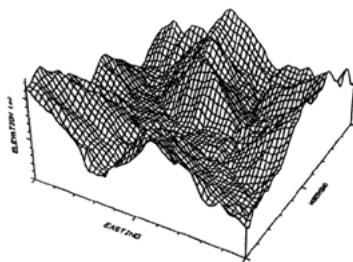
Podatki so v GIS-u glede na vsebino razporejeni po takoimenovanih vsebinskih plasteh. Ena od teh plasti ima topografsko vsebino in opisuje naravne danosti v prostoru. Razdeljena je na več podslojev in sicer:

- referenčni sistem,
- infrastrukturo,
- hidrografijo,
- imenoslovje,
- relief.

2. DIGITALNI MODEL RELIEFA

Digitalni model reliefa (v nadaljevanju DMR) je digitalna predstavitev zemeljske površine - reliefa. Način razporeditve višinskih točk in način shranjevanja podatkov sta odvisna od organiziranosti in namena uporabe DMR-ja.

Slika 1: Aksonometrični prikaz DMR-ja



Koordinate prostorskih točk so podane z vsemi tremi absolutnimi koordinatami. Zaradi tega je takšen model pri predstavitvi neodvisen od merila prikaza.

Na kvaliteto DMR-ja vplivajo:

- natančnost podatkov,
- možnost ažuriranja,
- enostavno procesiranje.

Oblika evidentiranja in način shranjevanja višinskih točk v DMR-ju sta lahko zelo različna. DMR-ji se razlikujejo glede na geometrične lastnosti oz. odnose med višinskimi točkami.

Pri nas so se najbolj uveljavili DMR-ji s pravilno gridno mrežo. V nadaljevanju si oglejmo možne oblike DMR-ja.

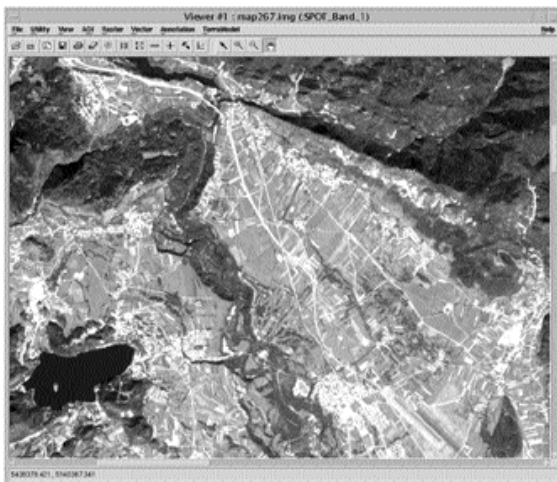
Po obliki lahko DMR delimo v tri skupine:

- **točkovni model:** lahko ima pravilni, nepravilni ali polpravilni grid (npr. pri progresivnem vzorčenju);
- **linijski model:** plastnice so najbolj običajni primer iz te skupine;
- **arealni ali površinski model:** interpretacija višin poteka s pomočjo polinomskih funkcij višjih redov. Posledica matematičnih funkcij je neprilagodljivost DMR-ja dejanskemu terenu.

3. ORTOFOTO KARTE

Ortofoto karta je posnetek s popravljeno distorzijo. Distorzija je posledica deformacij, nastalih zaradi geometrije senzorja na satelitu, kota snemanja in reliefa. Distorzija povzroča naslednje negativne efekte:

- napačne koordinate posameznih pikslov,
- primerjava slik istega območja po pikslih ni mogoča,
- napačne razdalje,
- dimenzija piksla variira (v primeru SPOT-a med 9 in 13 m).



Slika 2: Ortofoto karta
Bleda z okolico

4. ZAJEM DMR-ja

DMR lahko zajemamo na več načinov:

- **posredno:** viri za zajem so lahko obstoječe karte, aero in satelitski posnetki ali že obstoječi DMR. DMR zajemamo iz kartografskih virov z rastrsko ali vektorsko digitalizacijo. Ta je lahko ročna, polavtomatska (sledenje linij) ali avtomatska. Natančnost teh podatkov je odvisna predvsem od natančnosti in ažurnosti vira;
- **neposredno:** v to skupino spadajo vsa terenska merjenja (tahimetrija, nivelman ipd.) ter radarska ali laserska izdelava profilov (preleti terena). Natančnost podatkov, pridobljenih s terenskimi meritvami, je zelo visoka.;
- **kombinirano:** ta način predstavlja kombinacijo postopkov posrednega in neposrednega zajema.

Izbira načina zajema je odvisna predvsem od namena uporabe DMR-ja, konfiguracije terena, zahtevane natančnosti in zanesljivosti, opreme, potrebnega časa za izdelavo, razpoložljivih ustrezno izobraženih kadrov ter velikosti območja, ki ga želimo pokriti.

V primeru, da želimo s podatki v čim krajšem času pokriti večje območje, sta najprimernejši fotogrametrična metoda in metoda daljinskega zaznavanja. Daljinsko zaznavanje (Remote Sensing) je tehnologija zajema podatkov o objektu s senzorjem, ki je zmeraj zelo daleč od objekta. Ta termin se uporablja za snemanje zemeljske površine s satelitov ali iz letal. Metoda zajema podatkov na daljavo in brez kontakta temelji na razmeroma preprostem naravnem zakonu, ki pravi, da različne snovi emitirajo in reflektirajo elektromagnetno valovanje različnih valovnih dolžin. Prav ta različnost je osnova in pogoj, ki omogoča razpoznavanje in ločevanje pojavov, snovi ter stanja v prostoru. Glede na velikost prostora, ki ga lahko istočasno obdelujemo, in glede na metode obdelave (digitalna tehnologija) je količina na ta način pridobljenih podatkov izredno velika. Iz tega pa obratno sorazmerno izhaja, da je cena na ta način pridobljenega podatka najnižja. Stopnja ažurnosti je lahko zelo visoka.

Daljinsko zaznavanje je sorazmerno nova tehnologija. Komercialno se je v svetu pojavila šele v sedemdesetih letih. Danes vse bolj pridobiva na veljavi. Kvaliteta satelitskih posnetkov je vse boljša, resolucije pa so vse višje. Natančnost na ta način pridobljenih podatkov posega že na področje topografskih načrtov (do merila 1: 5000).

V nadaljevanju referata se bomo omejili zgolj na metodo izdelave DMR-ja iz satelitskih stereoparov.

5. SLIKOVNI PODATKI

Podatki daljinskega zaznavanja so digitalna prezentacija zemeljske površine. Pasivni senzor na satelitu (platformi) sprejema svetlobo s tal in jo posreduje detektorju. Senzorji običajno zajemajo elektromagnetno sevanje. To je energija, ki se širi skozi prostor v obliki električnih in magnetnih valov. Detektorji podatke zapišejo v obliki števil. Ta števila predstavljajo vrednost pikslov (pixel – picture element). Pikel je najmanjša površina slike, ki jo lahko zajamemo in ima eno samo vrednost. Vrednost piksla je izmerjena vrednost osvetlitve na tej površini pri izbrani valovni dolžini senzorja.

Pri daljinskem zaznavanju predstavlja vsak piksel določeno površino na Zemlji na točno določeni lokaciji. Vrednost, ki jo pripišemo pikslu, je na senzorju zaznana odbita svetloba ali emitirana toplota na tej lokaciji. Zmeraj se zapisujejo diskretne vrednosti (npr. 0 – 255 v 8 bitnih besedah).

6. KOORDINATNI SISTEMI

Lokacija piksla v datoteki ali na izrisani sliki se zmeraj izraža glede na izbrani koordinatni sistem. V osnovi razlikujemo dva koordinatna sistema in dva tipa koordinat:

189

- **slikovne koordinate:** izražajo lokacijo piksla znotraj slike (stolpec in vrstica). Slikovni koordinati zgornjega levega piksla na sliki imata zmeraj vrednost 0, 0;
- **kartografske koordinate:** izražajo lokacijo piksla glede na izbrano kartografsko projekcijo na tleh.

7. RESOLUCIJA SATELITSKIH POSNETKOV

Pod pojmom resolucija si običajno predstavljamo število pikslov, ki jih lahko izrišemo na zaslonu v eni vrstici, ali velikost območja na tleh, ki ga v sliki predstavlja piksel. Resolucija satelitskih posnetkov je karakterističen pokazatelj, na osnovi katerega se uporabnik odloča, katere in kakšne posnetke lahko uporablja in kdaj (frekvenca) jih lahko naroči.

Pri podatkih daljinskega zaznavanja moramo ločiti med štirimi vrstami resolucij:

- **spektralna resolucija:** interval valovnih dolžin, ki jih senzor lahko zazna;
- **prostorska resolucija:** je merilo najmanjšega objekta, ki ga senzor lahko še zazna in ga predstavlja piksel;

- **radiometrična resolucija:** število možnih vrednosti podatka (nians) v vsakem pasu;
- **časovna resolucija:** časovna ponovljivost snemanja slike istega območja.

8. IZDELAVA DMR-ja IN ORTOFOTO KART IZ SATELITSKIH POSNETKOV

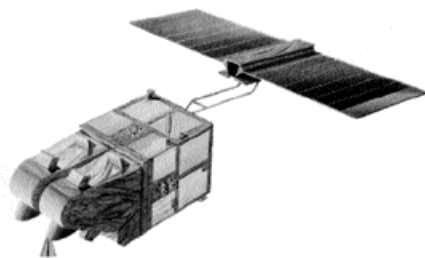
8.1 Izhodišče

Že pred leti se je na našem Ministrstvu pokazala potreba po homogenem in natančnem DMR-ju z resolucijo 20 m. Potrebovali bi ga predvsem za izračune potovanja radiosignalov, pokritosti z radarskim signalom, za možne simulacije ter terenske analize, kot so: nakloni in orientacije terena za izračun prehodnosti terena, ipd.. Izdelana je bila analiza možnih rešitev. Izbrana je bila posredna metoda izdelave DMR-ja iz satelitskih posnetkov. Na to so vplivali predvsem velikost območja, zahtevana natančnost in homogenost višin v DMR-ju ter časovna komponenta.

8.2 Izdelava stereoparov

Stereopari so bili izdelani s francoskim satelitom SPOT. Uporabljeni so bili posnetki satelitov SPOT-1, SPOT-2 in SPOT-3.

Slika 3: Satelit SPOT-2



Zaradi razgibanosti terena (Alpe na Z delu območja) je bilo zelo težko pridobiti kvalitetne posnetke. Na kvaliteto posnetkov so vplivali naslednji kriteriji:

- naklonski kot posnetka;
- razmerje med letalno višino in bazo stereoposnetkov;
- čas med izdelavo levega in desnega posnetka;
- oblačnost;
- pokritost s snegom;
- radiometrija levega in desnega posnetka.

Na podlagi teh kriterijev so bili izbrani stereopari, ki so imeli najvišjo korelacijo med levim in desnim posnetkom. Na izbor posnetkov, potrebnih za izdelavo ortofoto kart, so najbolj vplivali:

- minimalna pokritost z oblaki (dodatna zahteva je bila, da ni oblakov na območjih, ki so bila posebnega pomena);
- minimalna količina snega na tleh.

8.3 Izdelava digitalnega modela reliefa in ortofoto kart iz satelitskih stereoparov

Satelitski stereopar je vhodni podatek v proces izdelave DMR-ja. Karakteristike posnetkov so naslednje:

- uporabljajo se posnetki tipa Level 1A. Ti posnetki so identični s surovimi posnetki, ki jih sprejmemo s satelita. Izvršena je le minimalna radiometrična korekcija;
- za izdelavo DMR-ja se običajno uporabljajo PAN posnetki. Multispektralni posnetki so manj primerni (težja obdelava, vprašanje dobre korelacije, velikost piksla);
- razmerje B/H (razmerje med letalno višino in bazo stereoposnetkov) mora biti med 0.5 (+24") in 0.8 za gorata območja, za ravninska območja pa več kot 0.7;
- poseben problem predstavlja časovni interval med izdelavo levega in desnega posnetka (rast vegetacije).

Izračun DMR-ja temelji na izračunu dveh slik nesorazmerij (disparitetni sliki). Disparitetni sliki sta v bistvu sliki paralaks v smereh glavnih osi X in Y. Pri tem veljajo pogoji identičnosti in zveznosti:

- ena točka ima lahko le eno identično točko na drugi sliki;
- če ima točka na prvi sliki tri sosednje, jih mora imeti tudi na drugi sliki.

Problem izdelave DMR-ja je v iskanju takšne funkcije, ki eni točki na eni sliki priredi identično drugo točko na drugi sliki.

Do tega rezultata lahko pridemo s primerjalno (matching) metodo: točke ene slike primerjamo s točkami druge slike. Metoda je hierarhična (od grobega modela do nivoja piksla). Rezultat je korelacijska matrika. Frekvenca izračunanega reliefa je na ta način zelo visoka. V korelacijski matriki so lahko tudi vrednosti, kjer je korelacija med obema posnetkoma slaba (npr. vode, sneg ipd.) in šumi, ki so lahko posledica slabe vhodne slike (trakovi). Ta območja se maskirajo in ne gredo v nadaljnjo obdelavo.

Naslednji izračun je kalibracija, kjer se izračunavajo transformacijski parametri. Kalibracija zemeljskega satelitskega sistema poteka na način, da se izračunajo in optimizirajo interni in zunanji parametri našega slikovnega in zemeljskega sistema.

Parametri internega sistema (optičnega) so znani:

- konstanta kamere;
- goriščna razdalja objektiva;
- velikost piksla.

Eksterni parametri so:

- x, y, z centralne točke posnetka v zemeljskih koordinatah;
- azimut in rotacija optičnega sistema;
- hitrost in pospešek.

Vsi parametri se optimizirajo oz. izračunajo za vsako linijo slike. Za optimizacijo je potrebnih več kot 7 skupnih točk v obeh sistemih. Običajno se jih jemlje 20. Optimizacija se dela po metodi najmanjših kvadratov.

Končno se na podlagi disparitetne slike in transformacijskega modela izdelava DMR. Kontrola DMR-ja poteka preko superekspozicije izračunanega modela za levo in izračunanega modela za desno posnetek.

Ortofoto posnetek se izdelava z metodo vzorčenja. Najobičajnejše metode vzorčenja so:

- **metoda najbližjega sosedu:** pri uporabi te metode se pojavi napaka nezveznih linij. Metoda ne spremeni radiometrije, je pa hitra;
- **bilinearno vzorčenje:** pri tem načinu vzorčenju se upoštevajo tudi 4 sosednji piksli. Linije so bolj zvezne, spremeni pa se radiometrija;
- **bikubično vzorčenje:** v izračun gre 16 sosednji pikslov. Običajno se pojavi efekt nejasnosti slik.

Za izračun DMR-ja se uporablja bilinearno vzorčenje, pri izdelavi ortofoto kart pa dobimo najboljše efekte z bikubičnim vzorčenjem. Pri klasificiranih posnetkih je potrebno uporabiti vzorčenje po metodi najbližjega sosedu, sicer bi se pojavili novi razredi (npr. skanirane karte).

9. ZAGOTAVLJANJE KAKOVOSTI

V procesu izdelave DMR-ja in ortofoto posnetkov je zahtevana natančnost odvisna od več dejavnikov:

- spektralne resolucije;
- prostorske resolucije;
- radiometrične resolucije;
- časovne resolucije.

Nenehna kontrola zahtevane natančnosti in kvalitete slik je zelo pomembna, saj edino ta način dela zagotavlja, da bodo končni izdelki v zahtevani natančnosti in kvaliteti.

V procesu izdelave DMR-ja in ortofoto kart smo sami izvajali kontrolo na dveh mestih:

- **pri izboru in pripravi stereoparov:** izbor najprimernejše scene za izdelavo ortofoto karte (radiometrija, minimalna oblačnost, vidnost objektov posebnega pomena);
- **pri izračunanem DMR-ju in ortofoto posnetkih:** kontrola natančnosti končnega izdelka tik pred razrezom in spajanjem na zahtevane okvirje (pozicijska natančnost, višinska natančnost, radiometrija ter kolofon na izrisanih kartah).

193

Izvajalec je kontroliral kvaliteto izdelkov na naslednji način:

- izbor stereoparov (radiometrija, oblačnost);
- superekspozicija disparitetnih slik v procesu izdelave DMR;
- superekspozicija ortofoto kart, izračunanih iz levega in desnega posnetka;
- primerjava identičnih točk na karti, DMR-ju in ortofoto karti.

10. UPORABNA VREDNOST DMR-JA IN ORTOFOTO KART

DMR je digitalna interpretacija reliefa in je kot takšen zelo uporaben za prikazovanje terena in za najrazličnejše prostorske analize. Reliefne oblike lahko prikazujemo na več načinov. Najobičajnejši načini prikaza so:

- plastnice;
- hipsometrični prikazi;
- razrez modela na višinske rezine;

- senčenje reliefa;
- orientacije;
- aksonometrični prikazi.

Večina prostorskih analiz, ki temeljijo na DMR-ju, je z naslednjih področij:

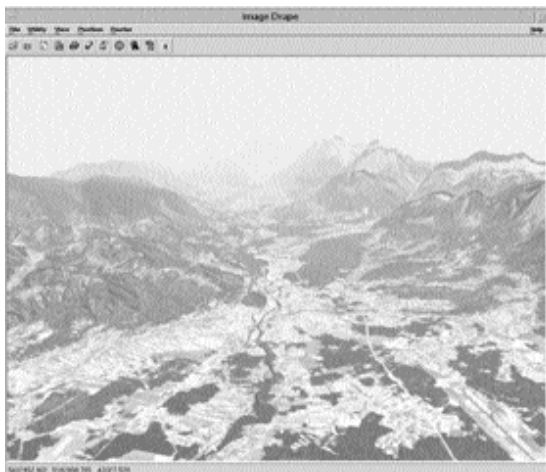
- prehodnosti terena;
- optične vidljivosti;
- analize pokritosti območja z radiosignali;
- radarskih analiz;
- vpliva reliefa na taktične situacije;
- simulacij (opazovalnice, preigravanje taktičnih situacij, simulacije letenja, ipd.).

Ortofoto posnetki in karte so zelo uporabni predvsem zaradi tega, ker uporabnik dela z realno sliko območja. Ta mu je običajno bližja kot topografska karta (poznavanje znakov). Osnovne značilnosti ortofoto kart so v njihovi merljivosti in ažurnosti. Običajno se izrisi kombinirajo še z drugimi vsebinami, ki izrise dopolnjujejo in omogočajo lažjo orientacijo v prostoru.

Uporabljajo se:

- kot delovne podloge (lahko nadomeščajo klasične karte);
- za interpretacijo terena;
- v kombinaciji z DMR-jem za izdelavo aksonometričnih prikazov;
- za simulacije.

Slika 4: Kombinacija DMR-ja in ortofoto posnetka - aksonometrični prikaz



11. POVZETEK

Digitalni model reliefa je eden od osnovnih podatkovnih slojev v vsakem geografskem informacijskem sistemu. Uporaben je za prikazovanje terena, za prostorske analize ter v najrazličnejših simulacijah.

Izdelava digitalnega modela reliefa in ortofoto kart iz satelitskih stereoparov je sorazmerno nova zadeva. Predstavlja zelo hiter in učinkovit način zajema prostorskih podatkov za zelo velika območja. V tem referatu je bil predstavljen način izdelave digitalnega modela reliefa in ortofoto kart na način, kot je bil izdelan na našem Ministrstvu.

Literatura in viri:

ERDAS Imagine, 1997: *ERDAS Field Guide*, ERDAS Inc., Atlanta, Georgia

Istar, SPOT Image, 1998: *Technical documentation*, Istar, Toulouse, France

Rozman J., 1998: *Prikaz osnov, uporabe in pregled trga satelitskih posnetkov*, Ministrstvo za okolje in prostor, Ljubljana

SPOT Image, 1989: *The catalogue of SPOT products and services*, CNES, Toulouse, France