

---

# PROSTORSKE ANALIZE V GEOGRAFSKIH INFORMACIJSKIH SISTEMIH

mag. Samo Drobne

FGG-Oddelek za geodezijo, Ljubljana

Tomaž Podobnikar

ZRC SAZU – Prostorskoinformacijski center, Ljubljana

Sebastian Marini

IGEA d.o.o., Ljubljana

Prispelo za objavo: 1997-09-25

Pripravljeno za objavo: 1997-11-24

## Izvleček

Namen članka je predstaviti prostorske analize v geografskih informacijskih sistemih. Najprej opredelimo prostorske analize ter analize prostorskih podatkov. Nato predstavimo osnovne pristope k prostorskim analizam. Podrobnejšo obravnavo posamičnih prostorskih analiz izvedemo s pomočjo t.i. funkcionalne delitve prostorskih analiz.

**Ključne besede:** analiza prostorskih podatkov, geografski informacijski sistem, prostorska analiza

## Abstract

Spatial analyses in geographical information systems are presented in the paper. Spatial analyses and analyses of spatial data are defined first and this is followed by the presentation of the basic approaches to spatial analysis. More detailed treatment of individual spatial analyses is performed using their so-called functional classification.

**Keywords:** geographical information system, spatial analysis, spatial data analysis

## 1 UVOD

Prostorske analize so eno najmočnejših in nepogrešljivih orodij GIS-a. Definiramo jih kot analize, s pomočjo katerih analiziramo prostorske podatke in ustvarjamo nove informacije (primerjaj z Baileyjem, 1994). Izvor prostorskih analiz se nanaša predvsem na razvoj kvantitativne in statistične geografije v 50. letih. V tem času so prostorske analize temeljile predvsem na obdelavi prostorskih podatkov s takrat razpoložljivimi statističnimi metodami (Openshaw, 1991). V 60. letih, ko so prvotnim statističnim metodam začeli dodajati še postopke matematičnega modeliranja in druge (statistične) raziskovalne metode, se je obseg prostorskih analiz močno povečal. Primerno definicijo prostorskih analiz v geografiji je leta 1973 podal Hagerstrand (Openshaw, 1991), po katerem naj bi kvantitativne analize v geografiji predstavljale proučevanje vzorcev točk, linij, območij in ploskev na kartah,

definiranih s koordinatami v dvo- ali tridimenzionalnem prostoru. Podobno je prostorske analize definiral tudi Unwin (1981), po katerem se prostorske analize ukvarjajo z razporeditvijo in opisom podatkov štirih osnovnih grafičnih tipov (točk, linij, območij in ploskev) na eni karti ter primerjavo teh podatkov na več kartah. Novejšo definicijo je podal Bailey (1994), po katerem s pomočjo prostorskih analiz upravljamo s prostorskimi podatki tako, da ti po obdelavi (procesiranju) dobijo novo obliko in nov pomen.

V začetku 90. let je že prevladalo spoznanje, da so prostorske analize izjemno pomembne za razvoj GIS-a (Openshaw, 1991). Zato je bilo postopno vključevanje orodij za prostorske analize v GIS-e neizbežno. Pri tem gre v splošnem za povezovanje med kartografskim področjem, daljinskim zaznavanjem in ključnimi področji kvantitativnih, statističnih in matematičnih analiz ter matematičnega modeliranja. S takšnim povezovanjem se povečuje funkcionalnost orodij GIS-ov. Uporaba prostorskih analiz se širi na vedno več strok. Tako naletimo na probleme, ki so prostorskega značaja in ki vključujejo prostorske podatke na področju geografije, geodezije, prostorskega planiranja, krajinske arhitekture, ekonomije, sociologije, ekologije itd. Posamezne stroke razvijajo lastne, posebne metode prostorskih analiz. Pri tem se pogosto dogaja, da se enake metode razvijajo večkrat in so vsakič drugače opisane ter razložene. To je glavni razlog, da se izrazoslovje in uporaba znakov s področja prostorskih analiz v sodobni literaturi na splošno razlikuje. Navsezadnje izhaja od tod tudi problem definiranja prostorskih analiz. Problem neuskladenosti strokovnih izrazov na področju prostorskih analiz v GIS-u je opazen že v angleškem strokovnem izrazoslovju, ki je vodilno na tem področju. Še večji problem pa se kaže na področju omenjenega slovenskega izrazoslovja, ki je nekdanj črpalo nove izraze predvsem iz grščine, latinščine, in potem iz nemščine, srbohrvaščine in angleščine. Tako so se izrazi za iste objekte različno prevajali skozi zgodovino in po posameznih strokah.

## 2 ANALIZE PROSTORSKIH PODATKOV IN PROSTORSKE ANALIZE

Razlikovanje med analizami prostorskih podatkov in prostorskimi analizami smo povzeli po Baileyju in Gatrellu (1995). Analize prostorskih podatkov predstavljajo ožje področje analiz kot prostorske analize. Namen analiz prostorskih podatkov je predvsem testiranje hipotez o prostorskih vzorcih in napovedovanje vrednosti za območja, za katera nimamo podatkov. O teh analizah govorimo takrat, ko analiziramo podatke na podlagi položajev v prostoru in ko opisujemo ali razlagamo obnašanje posamičnih prostorskih pojavov in možne zveze z drugimi prostorskimi pojavi. Tako gre pri analizah prostorskih podatkov predvsem za statistično opisovanje in modeliranje prostorskih podatkov.

Med prostorske analize pa štejemo vse analize prostorskih podatkov, vključno z različnimi tehnikami matematične optimizacije. Sem spadajo predvsem metode mrežnih analiz, kot so iskanje optimalnih poti, minimizacija transportnih stroškov, optimalna namestitvev storitev v mreži itd. Tovrstni problemi sicer vsebujejo prostorske podatke, toda razumevanje, razlaga in napovedovanje prostorskih podatkov niso glavni cilj. Iz napisanega se da razbrati, da se obe vrsti analiz večinoma prepletata.

### 3 FUNKCIONALNA DELITEV PROSTORSKIH ANALIZ

Kot smo že omenili v uvodu, različni avtorji različno delijo prostorske analize. Tako zasledimo v strokovni literaturi delitev glede na matematični pristop (število spremenljivk, operacije med objekti), grafični pristop (tipi grafičnih objektov), praktični pristop (praktične operacije, ki jih izvajamo v GIS-u) itd. V prispevku delimo prostorske analize glede na operacije, ki jih izvajamo v GIS-u. Takšni klasifikaciji pravimo funkcionalna delitev. Funkcionalno je prostorske analize opredelil že Berry (1987). Po njem delimo operacije, s pomočjo katerih jih izvajamo, na:

- analitične operacije (kamor spadajo klasifikacija, prekrivanje, operacije izračuna razdalj in povezanosti ter operacije sosedstva);
- operacije prostorskih interpolacij (različne točkovne in območne metode);
- operacije ocenjevanja in upravljanja napak (metode ocenjevanja ter upravljanja inherentnih in operativnih napak prostorskih podatkov) ter
- operacije statističnih prostorskih analiz (metode raziskovalnih in potrjevalnih statističnih analiz prostorskih podatkov).

#### 3.1 Analitične operacije

Ločimo štiri pomembnejše tipe analitičnih operacij (angl. analytical operations), in sicer: klasifikacijo, prekrivanje podatkovnih slojev, izračun razdalj in povezanosti ter operacije sosedstva. Po Tomlinovi (1990) imenujemo poljubno aritmetično kombinacijo analitičnih operacij (npr. seštevanje dveh ali več podatkovnih slojev, množenje podatkovnega sloja s skalarjem itd.) v GIS-u tudi algebra karte.

##### 3.1.1 Določanje in spreminjanje meja razredov

Določanje meja razredov oz. klasifikacija (angl. classification) je analitična operacija združevanja vrednosti (atributa) v posamezne razrede (kategorije), spreminjanje meja razredov oz. reklasifikacija (angl. reclassification) pa pomeni združevanje razredov. Primer prvega je uvrščanje vrednosti iz digitalnega modela reliefa (DMR) v višinske pasove, primer drugega pa pretvorba zapletene razdelitve rabe zemljišča v bolj preprosto shemo. Rezultat te analitične operacije je novi podatkovni sloj z novimi spremenljivkami. Klasifikacija vektorskih podatkov je zahtevnejša od klasifikacije rastrskih podatkov (Kvamme et al., 1997).

##### 3.1.2 Prekrivanje

Prekrivanje (angl. overlay) je analitična operacija kombiniranja podatkov diskretnih pojavov dveh ali več podatkovnih slojev znotraj istega geografskega območja. Vrednost atributa v neki točki novega podatkovnega sloja določimo s primerjanjem obstoječih značilnosti ali s pomočjo aritmetičnega procesiranja spremenljivk. Ločimo logično ter aritmetično prekrivanje podatkovnih slojev. Logično prekrivanje (angl. logical overlay) je analitična operacija prekrivanja podatkovnih slojev, podanih in Boolovi obliki (0/1; kar lahko pomeni: stran od rek/blizu rek, nižji predeli/višji predeli itd.). Najpogosteje uporabljene operaciji logičnega prekrivanja sta logična konjunkcija ter logična disjunkcija. Operacijo logične konjunkcije (logični in) uporabljamo za odkrivanje območij, kjer se objekti prekrivajo, operacijo logične disjunkcije (logični ali) pa za odkrivanje tistih območij,

na katerih je izpolnjen vsaj en pogoj (Raper, 1993). S kombinacijo klasifikacije in logičnega prekrivanja pa lahko iščemo območja, ki izpolnjujejo več kriterijev.

**A**ritmetično prekrivanje imenujejo nekateri avtorji matematično prekrivanje (angl. mathematical overlay). Lahko bi mu rekli kar računsko prekrivanje. Sem spadajo operacije seštevanja, odštevanja, množenja ter deljenja vrednosti podatkovnih slojev (Stančič, Gaffney, 1991). Prednosti aritmetičnega prekrivanja pred logičnim sta možnost definiranja kriterija uteži obravnavanim območjem ter merljivost izhodnih vrednosti. Enostaven primer je odštevanje podatkovnega sloja minimalnih od podatkovnega sloja maksimalnih letnih temperatur. Rezultat je podatkovni sloj maksimalnih letnih temperaturnih razlik.

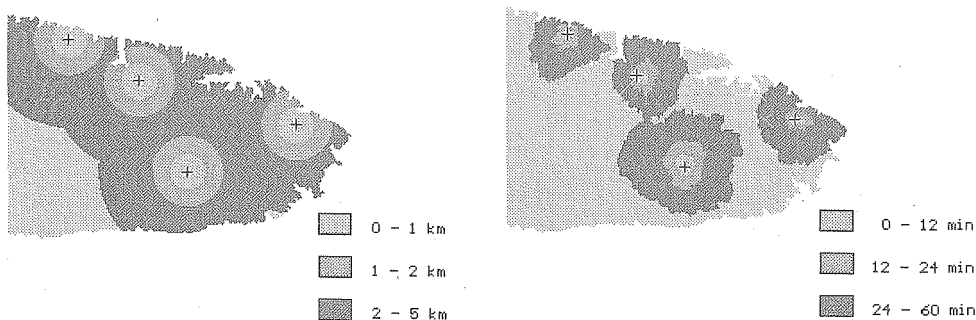
### 3.1.3 Izračun razdalj ter povezanosti

**I**zračun razdalj ter povezanosti (angl. calculating distances and connectivity) je analitična operacija, s pomočjo katere določimo relativni položaj pojavov na karti. Med enostavnejše analitične operacije izračuna razdalj in povezanosti spadajo operacije izračuna ploskev oddaljenosti ter vmesnih območij. K bolj zahtevnim tovrstnim analitičnim operacijam prištevamo operacije izračuna stroškovnih ploskev ter operacije, s pomočjo katerih izvajamo mrežne analize.

**P**loskve oddaljenosti (angl. distance surfaces). Večina sodobnih orodij GIS-ov ima vgrajen algoritem za izračun najkrajše razdalje med izbranimi točkama, nekateri celo med nizom točk (linijo). S takšnimi orodji lahko izračunamo tudi ploskev oddaljenosti od izbranih objektov. Pri tem nas zanima zvezno spreminjanje vrednosti oddaljenosti od nekega objekta. Najbolj izpopolnjeni algoritmi za izračun ploskev oddaljenosti so vgrajeni v rastrske GIS-e (glej npr. Eastman, 1997).

**V**mesna območja (angl. buffer zones). Iz ploskve oddaljenosti lahko izračunamo vmesna območja. Medtem ko se vrednosti pri ploskvi oddaljenosti spreminjajo zvezno od točke do točke, so pri območjih oddaljenosti te vrednosti kategorične. Zanima nas torej le še to, kakšne so kategorije območij znotraj izbrane razdalje; na primer: raba tal znotraj stometrskih pasov oddaljenosti od osi ceste. Levi del slike 1 prikazuje vmesna območja oddaljenosti od železnodobnih naselbin na otoku Braču.

**S**troškovne ploskve (angl. cost surface). Enostavno merjenje najkrajših (evklidskih) razdalj za večino problemov ni zadosten približek. Če želimo pri izračunu razdalj upoštevati tudi ovire iz stvarnega sveta (ceste, zgradbe, reke, hribe itd.), moramo za obravnavano območje določiti strošek oziroma težavnost premikanja. Količino, ki opredeljuje tak strošek na obravnavanem območju, imenujemo upor (Tomlin, 1990) in jo opredelimo z dodelitvijo različnih vrednosti uteži. Učinkovitost določitve uteži je odvisna od ciljev analize ter še posebej od zmožnosti abstrakcije stvarnega sveta. Stroškovno ploskev izvedemo iz izvorne točke z upoštevanjem vrednosti upora. Nadalje lahko, denimo, s pomočjo stroškovne ploskve določimo krivuljo najmanjšega upora; na primer, optimalno pot do poljubnega cilja (določimo tak potek ceste, da bo njen vpliv na okolje najmanjši). Desni del slike 1 prikazuje v tri kategorije klasificirano stroškovno ploskev porabe energije pri hoji od najbližje železnodobne naselbine (Podobnikar, 1996).



Slika 1: Železnodobne naselbine na vzhodnem delu otoka Brača (levo vmesna območja oddaljenosti od naselbin, desno stroškovne ploskve pri upoštevanju naklona terena)

Mrežne analize (angl. network analyses). Za nekatere analize iskanja poti in razdalj je pomembno, da je gibanje omejeno na niz linijskih elementov (npr. ceste), povezanih v vozliščih (npr. cestna križišča). Takšno ureditev podatkov ponavadi imenujemo mreža. Digitalni podatki o mrežah so navadno shranjeni v vektorski obliki, saj le-tem lažje določimo topološko povezanost kot rastrskim podatkom. Dve pomembnejši vrsti operacij, ki jih izvajamo v mrežnih analizah, sta identifikacija poti (angl. route identification), to je iskanje optimalne poti med danim izvorom (startom) in ponorom (ciljem), ter operacija dodelitve (angl. allocation) mrežnih delov najbližjemu storitvenemu središču. Iskanje optimalne poti lahko izvajamo z matričnimi ali drevesastimi algoritmi. Operacija dodelitve poteka navadno v dveh korakih. Najprej algoritem določi stopnjo povpraševanja vsakemu mrežnemu elementu, nato pa določi vsakemu posameznemu storitvenemu središču predpisano zmogljivost. Kombinacija operacij dodelitve mrežnih delov najbližjemu storitvenemu središču se pogosto uporablja pri postopkih planiranja in urejanja prostora.

### 3.1.4 Operacije sosedstva

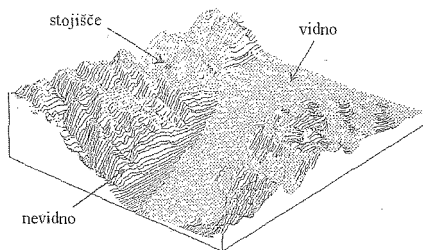
Operacije sosedstva (tudi kontekstualne operacije, angl. context or neighborhood operations, ali analize morfologije ploskev) so analitične operacije povzemanja pogojev iz sosedstva oziroma okolice neke lokacije. Izvajamo jih s pomočjo elementov (bližnjega in daljnega) sosedstva. Med najpogostejše operacije sosedstva, ki jih izvajamo v GIS-u, spadajo operacije izračuna Thiessenovih poligonov, operacije izračuna naklona in usmerjenosti terena, operacije izračuna razvodij ter operacije izračuna območij vidnosti. Poleg naštetih pa poznamo še operacije izračuna padnic, horizonta točke, skeleta terenske ploskve, osončenja, senc, hrapavosti itd. Izračun Thiessenovih poligonov (tudi Voronoievih poligonov oziroma Dirichletovih celic; Burrough, 1986)<sup>1</sup>. S to metodo razmejujemo enakovredne točkovne pojave. Rezultat so neprekinjeni mnogokotniki najbližnjega (neposrednega) sosedstva (angl. proximity) okrog danih pojavov. Za razmejevanje neenakovrednih točkovnih pojavov uporabljamo tehnike utežnih poligonov.

Izračun usmerjenosti in naklona terena (angl. calculating aspect and slope). Za izračun teh lastnosti poznamo več različnih metod (Skidmore, 1989), ki jih izbiramo predvsem glede na zapis digitalnih podatkov (raster, vektor). Usmerjenost ali azimut naklona terena (hipsometrične ploskve) je normalni vektor terena, ki ga

uporabimo pri izračunu naklona terena, projiciran na horizontalno ravnino. Naklon terena na posamezni točki terena je določen s tangento ravnino na teren, ki pa jo opredeljujeta gradient in usmerjenost. Gradient je naklonski kot normalnega vektorja (prvi odvod hipsometrične ploskve), ki kaže smer padnice. Gradient izrazimo v stopinjah ali odstotkih, usmerjenost terena pa v stopinjah azimuta.

**I**zračun razvodij. Metode določitve razvodij temeljijo največkrat na predpostavki, da teče voda vedno proti nižji točki. Navadno pri računanju razvodja najprej določimo ciljno točko. To je točka na terenu, v katero se izliva voda obravnavanega podatkovnega sloja. Algoritem nato poišče točke, s katerih se voda lahko zliva proti ciljni točki.

**I**zračun območij vidnosti. Te operacije daljnega sosedstva omogočajo določitev območij, ki so vidna iz izbrane točke na terenu. V osnovi potrebujemo za vhodne podatke poleg položaja stojišča tudi višine terena. Algoritem izračuna linije gledanja (vizure) iz stojišča na terenu ali nad njim (različni oddajniki, geodetske točke itd.). Neprekinjene linije, ki jih ne prekine nobena ovira, določujejo točke, ki spadajo v območja pogojne vidnosti (Slika 2). Verodostojnost rezultata je pogojena z (ne)upoštevanjem ukrivljenosti zemeljske površine ter ovir na terenu (zaraščenost, grajeni objekti itd.). Pri tovrstnih analizah lahko upoštevamo tudi morebitno nezanesljivost podatkov o višinah ter atmosferske motnje (refrakcija, uklonska območja elektromagnetnega valovanja itd.).



*Slika 2: Območja vidnosti, napeta na digitalni model reliefa v perspektivnem pogledu*

### 3.2 Operacije prostorskih interpolacij

**B**istvena prednost sodobnih orodij GIS-ov je sposobnost povezave informacij iz različnih virov. Prav zaradi tega pa je treba včasih prikaz danih informacij spremeniti iz enega tipa prostorskih objektov v drugega (npr. točkovni pojav v območni pojav). Z uporabo interpolacijskih metod ocenjujemo neznane vrednosti med znanimi z danimi lokacijami. Ločimo točkovne in območne metode prostorske interpolacije.

#### 3.2.1 Točkovne metode interpolacij

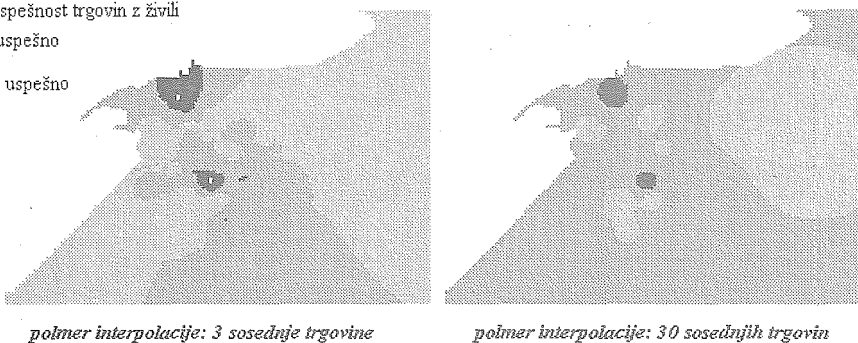
**S**pomočjo točkovnih metod interpolacije ocenjujemo neznane vrednosti med znanimi točkovnimi pojavi z danimi lokacijami. Ena od možnih delitev točkovnih metod interpolacij je delitev na globalne in lokalne točkovne metode interpolacij.<sup>2</sup>

**G**lobalne točkovne interpolacije. Te tehnike so običajno primerne za gladko interpolacijo vrednosti med danimi točkami. Pri tem interpoliramo površino s pomočjo modela prostorskega vzorca ob istočasni uporabi vseh razpoložljivih podatkov za obravnavano območje. Primer takšne interpolacijske metode je analiza trenda tridimenzionalne ploskve oziroma analiza prostorskega trenda, ki je ena izmed oblik analize multiple regresije. Običajno izvajamo analizo površine trenda s približno interpolacijsko metodo. Pričakovana ploskev se v resnici ne ujema z opazovanimi podatki. Poleg tega lahko dobimo popačeno sliko dejanskega stanja predvsem na robovih obravnavanega območja, še posebej, če uporabimo enačbe višjih stopenj. Z operacijami globalnih metod interpolacije slabo ocenimo lokalne spremembe vrednosti točkovnih pojavov, saj za celotno obravnavano območje ocenimo le eno funkcijo.

**L**okalne točkovne interpolacije. Če želimo pri oceni ploskve upoštevati tudi lokalne spremembe vrednosti, so primernejše tehnike lokalne interpolacije (Rihtaršič, Fras, 1991). Znani lokalni metodi točkovne interpolacije sta povprečenje utežnih razdalj in kriging. Osnovno načelo metode povprečnosti utežnih razdalj je v pripisu večjih uteži danim vrednostim na bližjih lokacijah ter manjših vrednostim na bolj oddaljenih lokacijah od znane točke (Chou, 1996). Rezultat takšne operacije v GIS-u je v veliki meri odvisen od uteži, ki jih porazdelimo razdaljam ter od polmera območja interpolacije. Slika 3 prikazuje rezultat interpolacije poslovne uspešnosti trgovin z živili v Kopru po metodi povprečenja utežnih razdalj za dva različna polmera interpolacije, treh in 30 sosednjih trgovin.

Poslovna uspešnost trgovin z živili

■ bolj uspešno  
 ▨ manj uspešno



*Slika 3: Interpolacija poslovne uspešnosti trgovin z živili v Kopru po metodi povprečenja utežnih razdalj za dva različna polmera interpolacije*

**K**riging (tudi kriganje) je zapletena in prefinjena metoda lokalne točkovne interpolacije. Ta metoda v splošnem deluje po načelu minimalnega odklona srednje vrednosti (Cressie, 1993) oziroma upoštevanja avtokorelacijske strukture prostorskih vrednosti z namenom določitve optimalnih uteži različnim oddaljenostim od točk. Druga prednost te metode pa je v možnosti izračuna standardnega odklona za vsako ocenjeno vrednost posebej, kar omogoča kontrolo natančnosti interpolacije. Iz opisanega lahko zaključimo, da je izbor točkovne metode interpolacije odvisen predvsem od tipa podatkov, načina ter kakovosti vzorčenja.

### 3.2.2 Območne metode interpolacij

Pogosto potrebujemo pri analizah, ki jih izvajamo z orodji GIS-ov, prenos podatkov iz nekega danega niza izvornih območij v podan niz ciljnih območij. Dve najpogosteje uporabljeni območni metodi interpolacije, ki ju zasledimo v sodobnih orodjih GIS-ov, sta metoda prekrivanja območij ter metoda centroidov območij. Med območnimi metodami interpolacije zasledimo še piknofilaktično metodo ter druge.

Metoda prekrivanja območij. Po tej metodi definira stopnja prekrivanja obeh območij populacijsko vrednost za ciljno območje. Ta metoda predpostavlja enakomerno razporeditev vrednosti znaka (atributa) znotraj izvornih območij, kar pa ni realno. Zato so bile razvite tudi nekatere druge metode, s pomočjo katerih približno interpoliramo vrednosti znakov med danimi območji.

Metoda centroidov območij. To je ena izmed enostavnejših območnih metod interpolacije (Bracken, Martin, 1989). Po tej tehniki algoritem dodeli centroide obravnavanim območjem, nato pa vrednosti znakov (atributov) rastrskim celicam po načelu utežnih razdalj. Prednost te metode je predvsem v pretvorbi območnih vektorskih podatkov v rastrske, ki omogočajo neposredno primerjavo (npr. po času).

### 3.3 Operacije ocenjevanja in upravljanja z napakami

Pri interpretaciji rezultatov prostorskih analiz moramo upoštevati tudi njihovo točnost ter točnost prostorskih podatkov, s pomočjo katerih smo izvedli analizo. V sodobnih GIS-ih lahko shranjujemo podatke visoke natančnosti (veliko število decimalnih mest), pri tem pa je točnost rezultatov, ki jih dobimo pri izvedbi analize, lahko zelo različna<sup>3</sup>. Zato je bil v zadnjih letih opazen skokovit razvoj tehnik za merjenje stopnje napak ter testiranje kakovosti podatkov v GIS-u. Operacije ocenjevanja in upravljanja napak v GIS-u ločimo na metode inherentnih napak<sup>4</sup> (angl. inherent errors) ter operativnih napak<sup>5</sup> (angl. operation errors).

#### 3.3.1 Operacije ocenjevanja in upravljanja z inherentnimi napakami

Tovrstne napake v modelu GIS-a so lahko tako geometrijske kot tudi atributne narave. Tako je položajna natančnost vektorskega modela odvisna predvsem od merila izvornih podatkov, rastrskega modela pa od ločljivosti podatkov. Razvitih je kar nekaj testov položajne natančnosti, ki jih uporabljamo pri prepoznavanju napak. Inherentne napake lahko v GIS-u grafično predstavimo s pomočjo epsilon pasov (za linijske entitete) ter z Monte Carlo simulacijami širjenja napak. Izbor metode določitve atributne natančnosti je pogojen predvsem z vrsto atributnih podatkov. Kategorične (znakovne) atributne podatke (npr. vrsta vegetacije) je smotno primerjati z vrednostmi izvornih informacij. Pri tem največkrat uporabimo metodo matrike napak ter druge statistične metode. Numerične inherentne napake pa najpogosteje ocenjujemo s pomočjo verjetnostnih metod, to je s pomočjo primerjave vrednosti opazovanj s pričakovanimi vrednostmi. Takšen kazalec nezanesljivosti večjega niza pričakovanih vrednosti je odklon od prave vrednosti (angl. Root Mean Square Error – RMSE; tudi srednji pogrešek). Ta je v primeru normalne porazdelitve ekvivalenten standardnemu odklonu.



### 3.3.2 Operacije ocenjevanja in upravljanja z operativnimi napakami

**N**ačin seštevanja oziroma prenašanja napak v GIS-u pri upravljanju s podatkovnimi sloji proučujemo z metodami testiranja operativnih napak. Znano je, da pri nekaterih analitičnih postopkih lažje ocenimo stopnjo prenašanja napak kot pri drugih. S tem v zvezi podajamo nekatera splošna načela (Lovett, 1995):

- stopnja zanesljivosti (točnost) rezultata, ki ga dosežemo s prekrivanjem podatkovnih slojev, ne more biti višja od najnižje stopnje zanesljivosti (točnosti) posameznih vhodnih podatkov,
- večje število podatkovnih slojev uporabimo v operaciji, večja je možnost prenašanja napak,
- seštevanje ali odštevanje podatkovnih slojev je večinoma manj obremenjeno s prenašanjem napak kot množenje, deljenje ali potenciranje,
- točnost interpretacije končnega rezultata je odvisna od poznavanja prostorskega vzorca napak (npr. razpršenosti, zbiranja v gručice ali povezanosti).

Pri analizah v GIS-ih je zato smiselno uporabiti čimbolj neobčutljive rezultate ter v nadaljnjo obravnavo vključiti le tiste detajle, ki so na ravni dosežene stopnje zanesljivosti (točnosti).

### 3.4 Operacije statističnih analiz prostorskih podatkov

**U**veljavila sta se predvsem dva pristopa izvajanja statističnih analiz prostorskih podatkov, in sicer operacije raziskovalnih ter potrjevalnih statističnih analiz (Fotheringham, Rogerson, 1994). Po prvem pristopu izvajamo analize v posebnih statističnih paketih, v katere uvozimo podatke iz GIS-a. Drugi izkorišča nekatere že vgrajene statistične funkcije orodij GIS-ov, vseeno pa ta sodobna orodja zaenkrat še ne vsebujejo algoritmov za reševanje in izvajanje zapletenih statističnih analiz prostorskih podatkov.

#### 3.4.1 Operacije raziskovalnih statističnih analiz

**M**etode raziskovalnih statističnih analiz obravnavajo predvsem odkrivanje prostorskih vzorcev. Pri tem največkrat ločimo med prostorsko razporeditvijo atributnih podatkov v gručice ter naključno ali enolično razporeditvijo. Pogosto te vzorce identificiramo z merami prostorske avtokorelacije.

#### 3.4.2 Operacije potrjevalnih statističnih analiz

**N**avadno izvajanje operacij potrjevalnih statističnih analiz sledi operacijam raziskovalnih statističnih analiz. S pomočjo takšnih metod testiramo eksplisitno podane hipoteze ali ocenjujemo statistične modele. Te metode največkrat slonijo na metodah regresijske analize. Vendar so pri izvajanju teh analiz določene težave. Sem spadajo predvsem problemi spremenljivih območij (vpliv določitve meja območij na končne rezultate) ter problemi popačenja klasičnih testov značilnosti zaradi prostorske odvisnosti spremenljivk.

#### 4 ZAKLJUČEK

V članku smo obravnavali nekatere pomembnejše vrste prostorskih analiz v geografskih informacijskih sistemih. Predstavili smo jih zgolj z vidika načela delovanja ter uporabniškega vidika. Pri tem smo navrgli nekaj možnosti njihove uporabe. Nakazali smo tudi na težave definicij in obsega področja prostorskih analiz ter težave, ki lahko nastopijo pri izvajanju prostorskih analiz v GIS-u. Zato na koncu povzemamo pomembnejše napotke za izvajanje prostorskih analiz v GIS-u (Lovett, 1995):

- način izvajanja posameznih analiz je različen glede na to, kateri GIS uporabljamo. Zato se je pri razlagi rezultatov pomembno zavedati, kateri algoritem smo uporabili v analizi,
- rezultati prostorskih analiz naj bi poleg odgovora na zastavljeno vprašanje v analizi nudili tudi podatke o stopnji zanesljivosti,
- vrzel med analitičnimi orodji, ki so komercialno dosegljiva v GIS-ih, in tistimi, ki jih obravnava strokovna literatura, je občutna. Zato se je zaradi potrebe po naprednih analizah včasih težko izogniti pretvorbi podatkov iz GIS-a v druga analitična orodja.

#### Zahvala:

Avtorji se zahvaljujejo recenzentoma, mag. Daliborju Radovanu in mag. Matjažu Ivačiču za ustvarjalne pripombe.

#### Literatura:

- Bailey, T.C., *A review of spatial statistical analysis in GIS*. Fotheringham, A.S., Rogerson, P.A. (eds.), *Spatial Analysis and GIS*. Taylor & Francis, London, 1994
- Bailey, T.C., Gatrell, A.C., *Interactive Spatial Data Analysis*. Longman, London, 1995
- Berry, J.K., *Fundamental operations in computer-assisted map analysis*. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1987, letnik 1, št. 2, str. 119-136
- Bracken, I., Martin, D., *The Generation of Spatial Population Distribution from Census Centroid Data*. *Environment and Planning A*, 1989, št. 21, str. 537-543
- Burrough, P.A., *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Clarendon Press, Oxford, 1986
- Chou, Y.-H., *Exploring Spatial Analysis in Geographic Information Systems*. OnWord Press, Santa Fe, 1996
- Cressie, N.A.C., *Statistic for Spatial Data*. John Wiley & Sons, New York, 1993
- Eastman, J.R., *IDRISI for Windows (software documentation, version 2.0)*. Clark University, Graduate School of Geography, Worcester, 1997
- Fotheringham, A.S., Rogerson P.A. (eds.), *Spatial Analysis and GIS*. Taylor & Francis, London, 1994
- Ivačič, M., *Izbrane metode ugotavljanja kakovosti prostorskih podatkov v geografskih informacijskih sistemih*. Magistrska naloga. FGK, Oddelek za geodezijo, Univerza v Ljubljani, 1996
- Ivačič, M., *Kakovost prostorskih podatkov*. *Geodetski vestnik*, Ljubljana, 1994, letnik 38, št. 1, str. 25-29
- Kvamme, K. et al., *Geografski informacijski Sistemi*. Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Ljubljana, 1997
- Lovett, A.A., *Spatial analysis*. Andrew, V.U.F (ed.), *GeoInfo: GIS-Materials for a Post-Graduate Course*. Št. 2: *GIS-Technology*, Technical University Viena, Dunaj, 1995, str. 453-488

- Openshaw, S., *Developing appropriate spatial analysis methods for GIS*. Maguire, D.J., Goodchild, M.F., Rhind, D.W. (eds.): *Geographical information systems: Principles and Applications*. Longman, London, 1991, št. 1, str. 389-402
- Podobnikar, T., *Pregled prostorskih analiz. Seminarska naloga, Podiplomski študij geodezije, FGG, Oddelek za geodezijo, Univerza v Ljubljani, 1996*
- Raper, J., *GISTutor 2: The Quick Reference Guide*. Longman, London, 1993
- Rihtaršič, M., Fras, Z., *Digitalni model reliefa. 1. del: Teoretične osnove in uporaba DMR, FAGG-KFK, Univerza v Ljubljani, 1991*
- Skidmore, A.K., *A Comparison of Techniques for Calculating Gradient and Aspect from a Gridded Digital Elevation Model*. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1989, letnik 4, št. 3, str. 323-334
- Stančič, Z., Gaffney, V., *Napovedovanje preteklosti – uporaba GIS v arheološki študiji otoka Hvara*. Znanstveni inštitut Filozofske fakultete, Ljubljana, 1991
- Šumrada, R., *Opredelitev kakovosti prostorskih podatkov*. *Geodetski vestnik*, 1996, letnik 40, št. 3, str. 226-233
- Tomlin, C.D., *Geographic Information Systems and Cartographic Modelling*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1990
- Unwin, D.J., *Introductory Spatial Analysis*. Methuen, London, 1981

- 1 Nekateri avtorji (glej npr. Lovett 1995) uvrščajo operacijo izračuna Thiessenovih poligonov tudi med točkovne metode interpolacije.
- 2 Vse lokalne metode točkovne interpolacije lahko uporabimo tudi globalno.
- 3 Točnost in natančnost v GIS-u definiramo po Raperju (1993). *Točnost* je stopnja zanesljivosti, s katero GIS-model predstavlja stvarni svet. *Natančnost* geometričnih podatkov v GIS-u pa je stopnja podrobnosti, s katero so bile izvedene meritve na objektih v stvarnem svetu. Več o natančnosti podatkov v GIS-u v strokovni literaturi, npr. (Ivačič, 1994, 1996; Šumrada, 1996).
- 4 Inherentne (vrojene, vgrajene) napake v GIS-modelu stvarnega sveta so napake, ki so se pojavile med samim zajemom podatkov v digitalno obliko, ali pa so že vsebovane v izvornih podatkih, s pomočjo katerih izvajamo analizo.
- 5 Operativne napake so napake v GIS-modelu stvarnega sveta, ki so nastale med samim izvajanjem operacij prostorske analize. Včasih jih imenujemo tudi tehnične napake.

Recenzija: mag. Matjaž Ivačič  
mag. Radovan Dalibor