

PROGRAMSKI PAKET ZA MODELIRANJE NEKIH PROSTORNO DISTRIBUTIVNIH FENOMENA

Izrađeni softverski paket predstavlja realizaciju originalno razvijene heurističke metode za konstruiranje modela neke prostorno distribuirane karakteristike nekog promatranog fenomena ili samog fenomena u cjelini. Zbog toga prvenstvena je namjena paketa za kreativan pristup kod konstruiranja i verificiranja modela, a tek sekundarna za operativno aplikativno korištenje. Karakteristike programskog paketa koje treba istaći jesu: interaktivnost, neformatizirani način rješavanja problema, modularnost, fleksibilnost, općenitost, pouzdanost i grafički prikaz modela. Programski paket je primijenjen u praksi. Izrađen je u Basicu i Fortranu.

U prirodnim i društvenim znanostima i praksi javlja se često problem izračunavanja i prikaza rasprostranjenosti intenziteta nekog fenomena ili samo intenziteta neke karakteristike promatranog fenomena u nekom određenom prostoru promatranja. To je na primjer problem izračunavanja reljefa sloja podzemne vode, problem izračunavanja i prikaza intenziteta oborina u nekom području, prirasta stanovništva, dohotka, potrošnje i slično. Takvu prostornu distribuciju treba pronaći na temelju poznatih mjerenih intenziteta u nekim diskretnim točkama promatranog prostornog područja. Tražena distribucija intenziteta predstavlja, prostorno promatrano, gotovo u svim slučajevima nepravilnu i kompliciranu prostornu formu. Tokom istraživanja dašlo se do zaključka da je egzaktan način rješavanja problema nemoguć zbog nepoznavanja svih utjecajnih varijabli, nemogućnosti mjerenja svih utjecajnih varijabli, nepoznavanja zakonitosti i mehanizama njihova djelovanja i, konačno, kompleksnosti koju bi ovakav način rješavanja zahtijevao. Zbog toga je razvijena relativno jednostavna heuristička metoda za izradu i prikaz modela ovakvih prostorno distribuiranih fenomena, odnosno samo nekih promatranih karakteristika.

Problem se može sasvim općenito promatrati, dakle kao generalizirani problem izrade i verifikacije modela. Tada je zadano područje promatranja, zatim referentne točke i intenziteti u tim referentnim točkama, a traže se intenziteti u preostalim točkama promatranog prostora, što se može jasnije izraziti na slijedeći način.

Područje promatranja zadano je nizom točaka koje određuju poligonalni prostor promatranja. To su točke

$$T_k(x_k, y_k, z_k) \text{ gdje je } k=1, 2 \dots k_1$$

koje određuju dužine $\overline{T_1 T_2}$, $\overline{T_2 T_3}$ $\overline{T_{k-1} T_k}$, $\overline{T_k T_1}$ dakle aproksimiraju određenu konturnu liniju područja promatranja s poligonom. Što je tih točaka više, aproksimacija je bolja. Moguće je aproksimirati područje i drugačijim linijama. U tom omeđenom području zadane su točke

$$T_r(x_r, y_r, z_r) \text{ gdje je } r=1, 2 \dots r_1$$

Te točke nazivamo referentnim točkama jer su u njima zadane vrijednosti intenziteta promatrane karakteristike, odnosno promatranog fenomena. Naravno, što predstavlja intenzitet i kako se on mjeri, odnosno kvantitativno izražava, to ovisi o prirodi samog fenomena, dakle mora se definirati za svaki pojedinačni slučaj posebno. Svakoj referentnoj točki T_r pridružen je dakle intenzitet I_r koji, može se reći, opet ovisi o položaju u prostoru, pa imamo

$$I_r(x_r, y_r, z_r) \text{ gdje je opet } r=1, 2 \dots r_1$$

Ova pretpostavka o prostornoj ovisnosti intenziteta osnovna je pretpostavka na kojoj (i nekim drugima) se temelji metoda. Ako kod nekog fenomena ne postoji prostorna distribuiranost i ovisnost, on se ne može ovom metodom modelirati.

U području promatranja na sličan način pomoću konturnih linija mogu biti zadana i posebna područja koja mogu imati neko određeno značenje ili mogu predstavljati područja s unaprijed zadanim konstantnim vrijednostima intenziteta ili slično. Također se mogu zadati i pojedinačne točke s posebnim vrijednostima te zatvorene i otvorene poligonalne linije.

Na osnovu zadanih veličina želi se izračunati u svakoj proizvoljno odabranoj točki $T(x, y, z)$ intenzitet I . Taj intenzitet stavlja se u ovisnost o svom vlastitom položaju (tj. položaju te promatrane točke) u prostoru te o ostalim zadanim veličinama. Naime, na temelju ovih je elemenata jedino moguće zaključivati kakav će biti intenzitet u nekoj proizvoljno odabranoj i promatranoj točki. Budući da to mora vrijediti za bilo koju odabranu točku promatranog prostora, prema tome, treba pronaći funkciju f takvu da bude

$$I(x, y, z) = f(x, y, z, T_r, I_r)$$

Funkcija f je aproksimativnog karaktera jer, kao što je napomenuto, ne može se egzaktno izvesti i dokazati. Ovako postavljeni problem ima i svoj inverzni problem koji neće ovdje biti postavljen i razmatran, iako programski paket sadrži i programe koji omogućuju rješavanje i inverznog problema.

Rješavanje ovako postavljenog problema temelji se na dva aksiomska principa koji se nazivaju princip lokalnosti utjecaja i princip superpozicije utjecaja. Princip lokalnosti utjecaja kaže da u određenom lokalnom (blizom) području oko točke promatranja najveći utjecaj na intenzitet u toj točki imat će najbliže točke, odnosno intenzitet u točki $T(x, y, z)$ bit će najbliži intenzitetu u bliskim točkama oko nje. Budući da su nam poznati samo intenziteti u referentnim točkama, to će značiti da će intenzitet $I(x, y, z)$ najvjerojatnije biti sličan ili, može se reći, na njega će utjecati najviše intenzitet u najbližim referentnim točkama, dok će utjecaj, odnosno sličnost s udaljenim referentnim točkama i in-

tenzitetima u njima biti malo vjerojatna ako se radi o kontinuiranoj funkciji raspodjele intenziteta u prostoru. Drugi princip kaže da utjecaje najbližih točaka, i to iz raznih smjerova, treba promatrati istovremeno, tj. da intenzitet u promatranoj točki treba promatrati na temelju superpozicije utjecaja iz različitih smjerova. To zbog toga što utjecaji mogu biti sasvim različitog odnosno suprotnog djelovanja.

U praktičnoj realizaciji dakle u programskom paketu to znači da se pronalazi nekoliko (četiri obično) referentnih točaka koje leže uokolo promatranoj točki i ujedno su najbliže toj promatranoj točki. Točke se odabiru iz raznih smjerova, odnosno iz svakog pojedinog kvadranta jedna, ako se pretpostavi da se ishodište koordinatnog sistema nalazi u promatranoj točki. Postoje i drugi načini izbora referentnih točaka na temelju čijih će se intenziteta zaključivati o intenzitetu u promatranoj točki. Tako je moguće postaviti i uvjete optimalnog izbora te provesti optimizaciju izbora referentnih točaka. Oba načina, optimizirani i neoptimizirani način izbora referentnih točaka, ugrađeni su u programskom paketu i mogu se koristiti. Kod optimiziranog načina postupak je naravno znatno složeniji i duži.

Prema izloženom utjecaj neke i -te reprezentativne točke na promatranu točku, odnosno njezin intenzitet, možemo izraziti kao

$$U_i = k_i I_i$$

jer će taj utjecaj biti proporcionalan intenzitetu u i -toj reprezentativnoj referentnoj točki. Pri tom je k_i faktor proporcionalnosti koji treba odrediti. Superpozicija utjecaja svih izabranih referentnih točaka u našem će slučaju biti uzeta kao suma utjecaja, iako je moguće zamisliti i drugačije vidove međusobnog superponiranja utjecaja. Zbog toga možemo intenzitet u promatranoj točki izraziti kao

$$I(x, y, z) = \sum_i U_i$$

odnosno

$$I(x, y, z) = \sum_i k_i I_i$$

Moguće je odrediti i koeficijente k_i . Naime, na temelju principa lokalnosti može se zaključiti da će utjecaj svakog pojedinog intenziteta, odnosno sličnost pojedinog intenziteta u pojedinoj referentnoj točki s intenzitetom u promatranoj točki opadati s udaljenosti te referentne točke od promatrane točke. Zbog toga može se tvrditi da će k_i opadati s udaljenosti, i to s nekom potencijom N , pa imamo

$$k_i \sim \frac{1}{d_i^N}$$

odnosno pisano kao jednakost

$$k_i = k_0 \frac{1}{d_i^N}$$

Novi koeficijent proporcionalnosti k_0 moguće je odrediti iz uvjeta

$$\sum_i k_i = 1$$

jer pojedini k_i određuje samo parcijalni utjecaj, a čitav utjecaj je suma svih parcijalnih utjecaja. Veličina d_i je udaljenost promatrane točke od i -te referentne točke i dana je poznatom relacijom

$$d_i = ((x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2)^{\frac{1}{2}}$$

Ako izračunamo koeficijente k_0 , odnosno k_i , onda konačni izraz za izračunavanje intenziteta u nekoj promatranoj točki glasi

$$I(x, y, z) = \frac{\sum_i \frac{1}{d_i^N} I_i(x_i, y_i, z_i)}{\sum_i \frac{1}{d_i^N}}$$

Jedina nepoznata veličina je sada ovdje eksponent N za svaku pojedinu referentnu točku, odnosno udaljenost. Ovaj se eksponent također može aproksimativno odrediti. U programskom se paketu on posebnim programom određuje kao prosječna vrijednost koja se koristi za svaku pojedinu točku. Nakon toga moguće je za svaku proizvoljno odabranu točku $T(x, y, z)$ odrediti kakav je intenzitet promatranog fenomena. Ako čitav promatrani prostor podijelimo na polja određene veličine i svako polje aproksimiramo točkom u njezinom centru, a vrijednost intenziteta u polju s vrijednosti intenziteta u toj točki, te za svaku takvu točku izračunamo vrijednost intenziteta prema navedenim izrazima, dobit ćemo distribuciju intenziteta u promatranom prostoru. Takva mrežna struktura može se učiniti dovoljno preciznom smanjivanjem osnovnih ćelija, međutim dobivena distribucija predstavlja velik broj numeričkih vrijednosti koje nije moguće na ovaj način koristiti. Zbog toga se prostorna distribucija intenziteta prikazuje grafički u obliku karte. Paket je izveden tako da omogućava dobivanje karata na štampaču ili ekranu alfanumeričkog terminala, iako je moguće čuvati i ispisati i numeričke vrijednosti. Grafički prikaz izveden je korištenjem određenih tehnika koje se koriste u kompjuterskoj kartografiji, ali i nekih sasvim originalno razvijenih algoritama (2.).

Može se i iz prethodnog kratkog i globalnog prikaza osnova same metode konstruiranja modela (jer to nije ništa drugo nego određene vrste model prostorne rasprostranjenosti intenziteta, odnosno samog fenomena ili promatrane karakteristike) zaključiti da sprovođenje ove metode, odnosno primjena u praksi, ne može biti provedena bez upotrebe kompjuterskog sistema, štoviše može se reći da tek izrađeni programski paket predstavlja upravo realizaciju metode i teoretskih zaključaka i postavki. Izrađeni paket je kao i pristup i sama metoda sasvim općenit i neovisan o pojedinačnom konkretnom problemu. S obzirom na široku mogućnost primjene paket je moguće i modificirati za svaki pojedinačni problem, odnosno pojedino područje primjene. Takav »tuning« programskog sistema omogućava njegovu veću uspješnost i upotrebljivost. Time se dobivaju

razni podsistemi ovog osnovnog programskog sistema, odnosno paketa. Ovaj opći programski sistem nazvan je kao što je to običaj u kompjuterskoj praksi posebnim akronimom PRODIFEM od naziva »prostorno didistribuirani fenomeni i njihovo modeliranje«. Čitav je programski paket građen iz 31 programa, a izgradnja paketa koncipirana je tako da zadovolji nekoliko osnovnih zahtjeva, odnosno da ima neke opće karakteristike koje su inače poznate u softwarskom inženjerstvu. To su slijedeće karakteristike:

- interaktivno korištenje programskog paketa
- neformatizirani način rješavanja problema
- modularnost programskog paketa
- fleksibilnost
- općenitost
- pouzdanost
- grafički prikaz modela.

Interaktivnost i mogućnost tzv. neformatiziranog načina rješavanja problema bile su predviđene ne samo samim dizajnom programskog paketa nego i tipom problema jer se radilo o implementiranju kreativnog postupka »konstruiranja modela i njegove verifikacije« dok je operativna aplikativna primjena i korištenje paketa tek sekundarnog značenja. Interaktivni način rada omogućuje i programski jezik u kojem je pisan paket, a to je BASIC, odnosno kompjuterski sistem na kojem se izvodio. Međutim, u nekim je segmentima procesiranja bilo potrebno koristiti i FORTRAN zbog intenzivnog računanja, a tu su programi pisani u FORTRAN-u bili znatno brži. Interaktivni rad omogućuje i tip problema jer se radi o problemu s relativno malim brojem ulaznih podataka, ali i potrebi da korisnik, tj. konstruktor modela specificira niz parametara kojima usmjerava i obradu i postupak konstruiranja, verificiranja i prikaza modela pa je neke korake potrebno u slučaju »pogreške« odnosno loše specificacije ponoviti. Specificacija parametara izvedena je na interaktivan način, tj. odgovaranjem na pitanja uz istovremenu kontrolu i mogućnost ispravljanja, odnosno respecificiranja. Programski paket omogućava i formatizirani i neformatizirani način korištenja, što znači da je moguće konstruirati modele slijedeći unaprijed određeni redoslijed izvođenja pojedinih programa i specificiranjem pojedinih parametara (formatizirani način), što je zbog kompleksnosti rada na konstrukciji modela za korisnika koji nema iskustva u radu s kompjuterskim sistemom bitno, kao i u praktičnoj operativnoj aplikativnoj primjeni. Nasuprot tome neformatizirani način rješavanja omogućava nekom naprednom korisniku da slobodno i nesputano kombinira programe i time u mnogim slučajevima da znatno skрати vrijeme potrebno za samo izvođenje, ali i konstruiranje. Ovakav neformatizirani način korištenja traži određeno iskustvo i dobro poznavanje programskog paketa.

Modularnost paketa uvjetovana je već prethodnim karakteristikama koje su kod dizajna postavljene u prvi plan. Programski paket je otvoren za daljnju nadogradnju ili za umetanje ponegdje novih programa jer je jedino zajedničko uporište svih programa banka podataka. Drugih veza među programima u smislu izvođenja ne postoji, odnosno programi su međusobno neovisni.

Programski paket, kao što je već napomenuto, sadrži dovoljan stupanj općenitosti da može biti primijenjen na probleme u raznim područjima i dovoljan stupanj fleksibilnosti za eventualne izmjene i prilagođavanja problemu, kompjuterskom sistemu, operativnim i aplikativnim zahtjevima kao i zahtjevima vezanim za ulaz i izlaz. Grafički prikaz modela također je bio nužan zbog korištenja u operativne svrhe, ali i kod samog konstruiranja modela.

Programski sistem čini 31 program, i to:

- program za *ulaz koordinata* za datoteke konturnih točaka, posebnih područja i multih područja (ULKOR)
- program za *ulaz referentnih točaka* i pripadnih vrijednosti intenziteta (ULREF)
- program za formiranje datoteke *znakova* za izlaznu kartu i njeno ažuriranje (ZNAK)
- program za *ispis koordinata* iz datoteka formiranih s programom za ulaz (ISKOR)
- program za *ispis koordinata referentnih točaka* i vrijednosti intenziteta (ISREF)
- program za *brzi pregled koordinata* iz datoteka konturnih točaka i posebnih područja s ispisom samo na terminalu (ISKONT)
- program za *ispis radne datoteke referentnih točaka* (ISRDAT)
- program za *ispis legende kartografiranog modela* (LEGEN)
- program za *štampanje karte* (STAKA)
- program za *štampanje karte* s obilježavanjem koordinatnih osi (STAKOS)
- program za *konverziju podataka izračunatih* s programima u Fortranu tako da ih može koristiti program u Basicu (KONB)
- program za *konverziju podataka izračunatih* s programima pisanim u Basicu tako da ih može koristiti program pisan u Fortranu (KONF)
- program za *konverziju referentnih podataka* (KONREF)
- program za *interpolaciju točaka kontura područja* promatranja (KONTA)
- program za *markiranje* posebno zadanih površina i površine za računanje modela (MARK)
- program za *promjenu broja referentnih točaka* (NPROM)
- program za *određivanje eksponenta N* (ODEKS)
- program za *obilježavanje osi koordinatnog sistema* na izlaznoj karti (OBOS)
- program za *unošenje linija* i točaka u kartu (ULINT)
- program za *zamjenu znakova* u karti (ZAMJEN)
- program za generiranje datoteke za »zumiranje« područja (ZUM)
- opći program za računanje *modela* pisan u Basicu (MOBAS)
- program za računanje *modela* s izborom reprezentativnih referentnih točaka pomoću rotirajućeg koordinatnog sistema (MODROT)
- program za računanje *modela* s izborom točaka pomoću translativanog koordinatnog sistema (MODTRANS)
- program za računanje *modela* s optimiziranim izborom točaka iz 4 smjera (MOPT4S)
- program za računanje *modela* s optimiziranim izborom točaka iz cijelog prostora bez ponavljanja iste točke (MOPTCPBP)

- program za računanje modela s optimiziranim izborom točaka iz cijelog prostora s ponavljanjem točaka (MOPTCPSP)
- program za računanje posebnog tipa modela nazvanog »proksimalni model« (MODPROKS)
- program za računanje modela statističkog prosjeka (MODSTAT)
- program za računanje modela pomoću prostornih ploha (MODPLOH)

Iz navedenog popisa programa vidljivo je da je programski paket prilično složen, a isto je tako i korištenje, što predstavlja nedostatak naročito za operativnu primjenu. Ovaj se nedostatak, međutim, može kompenzirati ili formatiziranim pristupom ili selektiranjem i modificiranjem samo najpotrebnijih programa i stvaranjem podsistema ovog programskog sistema.

Mogućnosti primjene programskog sistema nisu ograničene na neko određeno područje nego se može primijeniti na sve probleme koji zadovoljavaju uvjete prostorne distribuiranosti, kontinuiranosti, mogućnosti definiranja i mjerenja intenziteta u diskretnim točkama i mogućnosti primjene principa lokalnosti utjecaja i superpozicije utjecaja najbližih referentnih točaka. Programski je sistem do sada praktično primijenjen u hidrogeologiji gdje se pokazalo da je i programski paket i metoda primjenjiva u praksi na vrlo zadovoljavajući način dajući korisne i ručno neostvarive modele i rezultate.

L I T E R A T U R A

1. Jacoby S. L. S., Koywalik J. S., *Mathematical Modeling with Computers*, Prentice-Hall, London, 1980.
2. Kvaternik R., Tkalac S., *Efikasni algoritam za »markiranje« površinskih entiteta baziran na određivanju relacije inkluzije i mrežnom kodiranju podataka*, Zbornik radova simpozija »Kompjuter na sveučilištu«, Cavtat, 1981.
3. Nagy G., Wagle S., *Geographic data processing, Computing Surveys*, Vol 11., No. 2, June, 1979.
4. Bezant C. B., *Computer Aided Design and Manufacture*, John Wiley and Sons Ltd., London, 1980.

Kvaternik R. Programming package for model development of some spatially distributed phenomena

S U M M A R Y

Developed software package is a realization of a computer based heuristic method for model construction, verification and testing of some spatially distributed characteristics of an observed phenomena. It serves primarily for development and testing of new models, as opposed to other similar packages, although it can be used in operational purposes and in normal application too. The main advantages of the developed package are: interactive and nonformatted approach to the problem of model building, modular construction of the package, flexibility, generality, reliability and graphical representation of the model on output in a form of a printed map This package has already been used in practice. It is written in Basic and Fortran.

(Prijevod: Ratimir Kvaternik)