

Бранислав Бајат, Душан Јоксић, Зоран Недељковић\*

## FUZZY ПОГЛЕД НА ЖИВОТНО ОКРУЖЕЊЕ

**Abstract:** A period of fifty years has been reached since the introduction of the first applications based upon geographical information systems (GIS). GIS has not only influenced the development of methods, collection techniques, processing, manipulation and visualization of spatial data. It influenced also the expansion of scientific research in geosciences, as well as the technical disciplines that are engaged in spatial analysis. Nowadays, GIS is becoming the tool for verification and practical implementation of models and algorithms that have been developed within the frame of basic scientific disciplines. The meaning of the GIS acronym is becoming more and more related to term of Geographical or Geo Information Sciences. Scientific concepts that are increasingly applied in GIS are more emphasized in that way.

GIS computational techniques, required also the development of geographical data models that should effectively support GIS operations. These models represent formal equivalents of conceptual models used by people in observing geographic phenomena. Spatial phenomena used to be mapped as clearly defined points with known coordinates, or as lines which connect the very same points, or as polygons with exactly defined borders. They were mapped previously in analog form and nowadays in digital format. This approach of perceiving a space, data analyses and visualization of spatial quires is limited on the application of basic rules of Boolean algebra and binary logic, with final results presented as classical thematic maps.

The need for a mathematical model that would describe uncertainty of spatial data, resulted in the introduction of the theory of fuzzy sets in spatial analysis. Moreover, this model will provide a solution for visualization and grouping up of spatial phenomena in classes which do not have clearly defined borders.

**Key words:** GIS, fuzzy logic, visualization

### Увод

Током шездесетих и седамдесетих година двадесетог века дошло је до промена у начинима коришћења и процени података о природним ресурсима и земљишту. Схватањем да различити видови земљине површи не функционишу независно једни од других, а у моменту када још нису имали на располагању средства за рад са великом количином различитих података, стручњаци су настојали да их процењују интегрисаним, мултидисциплинарним приступом. Научне дисциплине које се баве картирањем простора – геодезија, фотограмetriја и картографија – развиле су бројна средства за прецизну регистрацију и презентацију положаја и особина (атрибута) јасно дефинисаних природних и антропоморфних појава.

---

\* др Бранислав Бајат, дипл.геод.инж., Зоран Недељковић, дипл.геод.инж., проф. др Душан Јоксић, дипл.геод.инж., Грађевински факултет Универзитета у Београду, Одсек за Геодезију и геoinформатику

Питање основних јединица географских информација решено је веома рано, и први модерни картографи су представљали реалне просторне објекте или административне јединице прецизно исцртаним тачкастим и линијским симболима који су бирани тако да оцртавају њихове најважније атрибуте. Унутар ових 'природно дефинисаних јединица' било је неопходно да постоје препознатљиве, јединствене и међусобно зависне комбинације карактеристика простора, попут земљишних облика, геологије, тла, вегетације и воде. Овакав приступ је решавао проблем прекомерних количина података редуковањем свих просторних варијација у ограничени број претпостављено хомогених класа које се могу цртати на хороплет картама.

Приликом коришћења ГИС-а у просторним анализама одувек је постојала тенденција да се подаци у базама третирају као апсолутно тачни како у положајном тако и у атрибутском смислу. Такав однос је проистекао из чињенице да се квалитет ГИС-а процењивао на основу визуелних приказа крајњих производа на екрану рачунара или видео уређаја, као и одштампаних карата на плотеру или штампачу. Сви недостаци у квалитету улазних података прикривани су изузетно атрактивним визуелним графичким приказима које је ГИС технологија пружала корисницима.

На почетку имплементације ГИС-а, активности су у највећем обиму биле базиране на конверзији аналогних податка (графичких и алфанумеричких) у дигитални облик, придуживању атрибута просторним ентитетима, односно формирању иницијалних просторних база података, а само малим процентом оријентисане и на просторне анализе. Данас се тежиште на активностима све више окреће ка коришћењу већ оформљених база у просторним анализама, што је и улога ГИС-а. Такође се ГИС све више ослања и на савремене технологије прикупљања податка (сателитски и радарски снимци, ласерска технологија премера) које просторне податке обезбеђују у форматима који су већ спремни за анализе и геопроцесирање.

Данас у време све динамичнијег индустријског и технолошког развоја, стандардни тематски прикази простора оличени у хороплет картама немогу нам понудити податке који осликавају реалну ситуацију на терену. Због тога у први план избијају производи попут сателитских снимака високе резолуције (IKONOS, QuickBird и OrbView-3). Сем стандардних метода визуелне интерпретације снимака развијени су и компјутерски алгоритми који су аутоматизовали процес класификације просторног садржаја. Иако су терминологија и извори података доста различити, методе за анализу растерских карата, само се мало разликују од оних које су усвојене за процесирање података добијених технологијама даљинске детекције.

### Фази скупови и фази логика

Просторне појаве се обично картирају јасно дефинисаним тачкама са познатим координатама или линијама које повезују исте те тачке и полигонима са егзактно дефинисаним границама. Својства простора у тачкама дуж линија или унутар полигона приказана су атрибутима чије вредности се посматрају као константе у оквиру граница објекта. Предпоставке о јасно дефинисаним границама врло су погодни за дигитални приказ објеката. Овакав приступ наизглед је врло погодан за многе антропогене просторне ентитете пут зграда, путева, парцела и административних јединица. Међутим, концепт просторне неодређености или вишезначности су својствени за многе посторне податке који описују природне, друштвене појаве као што је коришћење земљишта, квалитет земљишта, вегетација итд. У овим случајевима границе нису линије већ могу бити и региони односно прелазне зоне.

Фази логика преставља покушај да се непрецизне и несигурне информације престављају и обрађују помоћу компјутера, чиме би се обезбедила приснија веза између човека, који по природи овакве информације користи и рачунара, који манипулише искључиво бројкама и фиксним симболима (Субашић (1997)). Појам фази (fuzzy (*енгл.*)) се односи на нешто што нејасно, замућено, магловито, непрецизно. Њега је у свет науке и технологије увео професор Лофти Задех са Универзитета у Берклију, објављивањем рада "Фази скупови" (Zadeh (1965)). Ова теорија, представљала је генерализацију класичне теорије скупова. Професор Задех је практично први успоставио математички модел који ће описивати несигурност. Он је и творац принципа некомпатибилности, који гласи: *"Што се више приближавамо реалном проблему, његово решење постаје све више фази"*.

Главна карактеристика фази теорије је могућност груписања индивидуалних појава у класе које немају јасно дефинисане границе. Овако дефинисани фази скупови су корисни за описивање неодређености, несигурности и амбивалентности модела емпиријских појава. Функција фази припадности наизглед је врло слична функцији вероватноће, али у основи оне се разликују у интерпретацији. Теорија вероватноће предпоставља постојање само једне класа или скупа ентитета и изражава степен вероватноће присутности, где се класа са највећом вероватноћом тумачи као стварна класа. Теорија фази скупова прихвата могућност да више класа или скупова могу бити присутни на истој локацији истовремено и изражавају степен присутности кроз вредност функције припадности.

Фази подскуп,  $A$  of  $Z$ , је дефинисан функцијом  $\mu_A$ :

$$A = \{ z, \mu_A(z) \}, \text{ за свако } z \in Z.$$

Релација  $\mu_A(z)$  се зове фази функција припадности ( $MF^F$ ) и она дефинише степен припадности објекта  $z$  у  $A$ , где  $z \in Z$  указује да  $z$  објекат садржан у  $Z$ . За све

вредности  $A$ ,  $\mu_A(z)$  има вредности између 0 и 1. Фази функција припадности дефинише степен припадности  $z$  у  $A$ .

Постоје различити типови фази функција припадности (слика. 1). Стандардна Булова функција припадности је приказана на слици 1.а), где за све вредности  $b_1 \leq z \leq b_2$ , она има вредност 1, у супротном она је једнака 0.

Насупрот Булове, функција припадности на приказана на пример на слици 1.г) се састоји од централног језгра прелазних зона. Логично је да прелазне зоне буду постављене тако да тачке прелома фази скупова леже на границама одговарајућег Буловог скупа. За избор ширина прелазних зона  $d_1$  и  $d_2$  нема чврсто дефинисаних правила, али и ту постоје одређена искуства која могу послужити код одабира њихових вредности. Фуункција припадности на слици 1.г) се може приказати следећим једначинама:

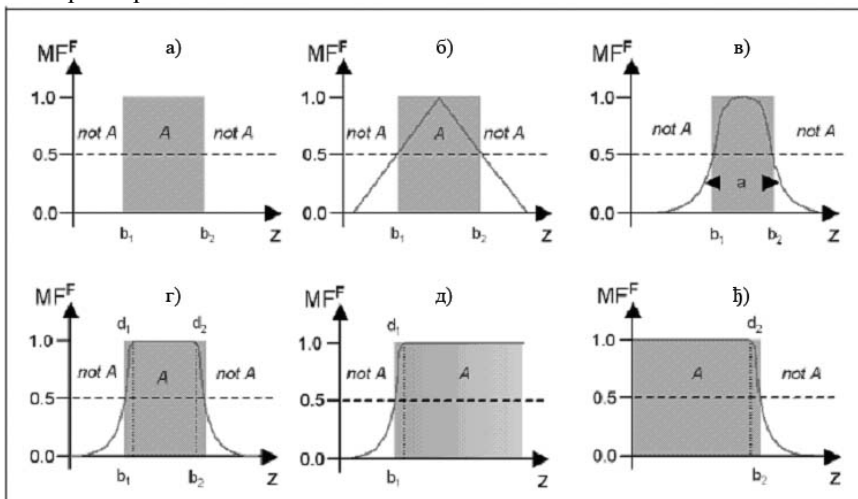
$$MF^F(z) = \frac{1}{1 + \left(\frac{z - b_1 - d_1}{d_1}\right)^2} \quad \text{за } z < b_1 + d_1$$

$$MF^F(z) = 1 \quad \text{за } b_1 + d_1 < z < b_2 - d_2$$

$$F^F(z) = \frac{1}{1 + \left(\frac{z - b_2 + d_2}{d_2}\right)^2} \quad \text{за } z > b_2 - d_2$$

Одређивање вредности фази припадности је основни задатак у примени фази скупова код конкретних апликација. Два најчешће коришћена метода су семантички улаз (*sematic input (engl.)*) и фази  $k$ -средине (*fuzzy k-means (engl.)*).

Приступ семантичког улаза је погодан у случајевима када имамо представу како ће подаци бити класификовани и просторно груписани, али постоји проблем јасно дефинисаних граница. У овом приступу је битно изабрати одговарајућу функцију и њене параметре.



Слика 1. Графици неких од фази функција припадности (Burnough & McDonell (2006))

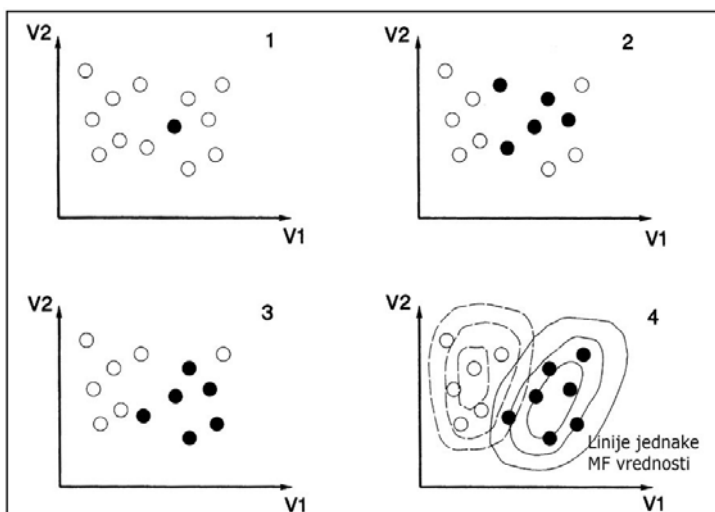
У случају функције приказане на слици 1.г) параметри о чијим вредностима треба доносити одлуку су прелазне зоне (тј.  $d_1$  и  $d_2$ ). Избор ширина прелазних може бити потпуно произвољан, међутим много логичнији приступ је да на пример оне одговарају вредностима које треба да изразе вредност тачности с којом су подаци узорковани. На тај начин се моделује грешка узорковања, а с тиме и несигурност података који се анализирају. Семантички улаз је базиран на експертском знању, док је други приступ аналоган кластерској анализи и нумеричкој таксономији. Метода фази  $k$ -средина може користити код фази класификација објеката (тј. полигона) у случају да се разматра скуп више различитих атрибута. Код ове технике се користи један облик кластерске анализе у циљу идентификације  $k$  кластера унутар којих су припадајући ентитети слични једни другима. Док у класичној кластерској анализи као резултат добијамо да се један ентитет придружује само једном кластеру, фази  $k$ -средине придружују сваки објекат свакој од  $k$  класа у већој или мањој мери што се осликава вредностима функције припадности у опсегу од 0 до 1.

Постоји више алгоритама за рачунање фази  $k$ -средине али најчешће коришћени је Баздек-ов, који се користи за рачунање припадности  $\mu$  за  $i$ -ти објекат у  $c$ -тој класи, који гласи:

$$\mu_{ic} = \frac{[(d_{ic})^2]^{-1/(q-1)}}{\sum_{c'=1}^k [(d_{ic'})^2]^{-1/(q-1)}}$$

где је  $d$  растојање које дефинише сличност, а коефициент  $q$  одређује степен неодређености односно несигурности. За вредност  $q=1$ , добијају се јасно оцртане границе између класа (хороплет карта). Оваква рачуница се спроводи у итерацијама (слика 2).

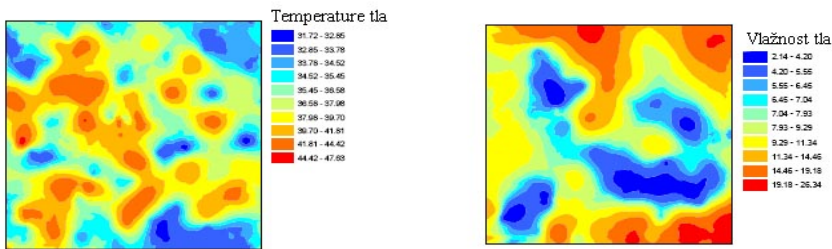
Слика 2. Итеративно формирање кластера помоћу фази  $k$ -средина



Приступ класификације фази  $k$ -срединама је погодан када недостају информације о броју и дефиницији класа. Код обе методе (семантички улаз и фази  $k$ -средине) могуће је да се класе преклапају што је врло битно код резултата који се генеришу применом логичких операција код постављања упита.

### Примена фази логике

Резултати добијени применом класичне Булове алгебре и фази логике могу се приказати на примеру података који су дати у виду карата са изоленијама које приказују температуре, односно влажност тла (слика 3).

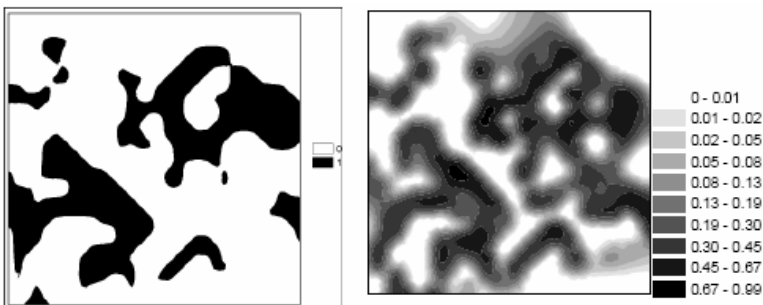


Слика 3. Карта температура тла(лево) и влажности тла (десно)

Уколико би се поставио стандардни упит који би био дат исказом:

$$7 \leq \text{влажност} \leq 12 \text{ AND } 35 \leq \text{температура} \leq 39.$$

резултат добијен применом класичне Булове алгебре била би бинарна карта са вредностима 0 и 1 (TRUE, FALSE), односно карта са јасно исцртаним полигонима (слика 4. лево). Уколико би хтели да избегнемо овакав приказ треба применити унапред изабране функције припадности за влажност  $\mu_B$  и  $\mu_T$  за температуру (слика 4.десно)



Слика 4. Резултати добијен Буловом алгебром (лево) и одговарајућом фази логиком (десно) (Krivonuchko & Crafword (2005)).

Већина фази експертских система омогућује да се донесе више закључака на основу једног правила. Скуп правила фази експертских система базиран је на правилима или знању.

Разлике у интерпретацији резултата добијених стандардним Буловим логичким операторима и фази операцијама могу се лако сагледати и на следећем примеру. Логички оператор 'AND' у бинарној логици се замењује са функцијом 'MIN', док оператор 'OR' са 'MAX' функцијом. Тада се на пример један од стандарних просторно атрибутских упита у ГИС дат исказом:

**IF** НАГИБ ТЕРЕНА  $\geq 10\%$  **AND** СТРУКТУРА ЗЕМЉИШТА  
= ПЕСАК **AND** ПОКРИВЕНОСТ ВЕГЕТАЦИЈОМ  $\leq 25\%$

**THEN** ОПАСНОСТ ОД ЕРОЗИЈЕ **EQ** ОЗБИЉНА

Он се може се изразити као:

$OZ_B = \text{MIN}(HT, CZ, PB)$ , где су *HT*, *CZ*, *PB*, нагиб терена, структура земљишта, покривеност вегетацијом. У случају класичне Булове логике ови атрибути могу имати вредност 0 или 1. Тада се и излазном параметару  $OZ_B$ , који се одоци на озбиљност опасности од ерозије, могу придружити вредности 0 или 1. Ако се над истим исказом примене правила логике  $OZ_\phi = \text{MIN}(HT, CZ, PB)$ , и нека улазни подаци имају вредности функције припадности  $HT=0.9$ ,  $CZ=0.8$  и  $PB=1.0$ . тада ће резултат исказа бити  $OZ_\phi=0.8$ , тј. задата комбинација улазних података испуњава 80% услова да дође до ерозије. Резултати добијени применом фази логике мање су осетљиви на евентуалне грешке у подацима, него у случају примене еквивалентне бинарне логике (Burrough, Frank (1996)).

### Закључак

Примена технологија Географских Информационих Система (ГИС) отворила нове приступе и методологије у анализама просторних података. Нарастајуће потребе за просторним подацима и ефикаснијим средствима за њихову анализу могу се задовољити применом геоинформатичких технологија.

Упоредо са развојем ГИС-а, посебно у задњој деценији двадесетог века и почетком новог миленијума, сведоци смо и експанзије технологија које се баве прикупљањем и трансфером просторних податка. То је резултовало повећањем обима доступних података али и свести о потреби за критичким сагледавањем квалитета података, поузданости и оцене погодности за употребу у специфичним апликацијама. То је довело и до променама у концепту сагледавања и апстракције простора, а с тиме и новим приступима у геопроцесирању просторних података, визуелизацији резултата просторних анализа

### Литература:

Burrough P., Frank U. (ed.) (1996), Geographic Objects with Indeterminate Boundaries, *Taylor&Francies*, London, pp.345.

Burrough P., McDonell R. (2006), Принципи географских информационих система - просторни информациони системи и геостатистика, *српски превод Principles of geographical Information Systems 2<sup>nd</sup> e. Spatial Information systems and Geostatistics*, *Грађевински факултет*, Београд, ст. 421.

Krivoruchko K., Crafword A.C. (2005), Assessing the Uncertainty Resulting from Geoprocessing Operations, In: Maguire D., Batty M., Goodchild M. *GIS, spatial analysis, and modeling. ESRI Press*, pp. 498.

Субашић П. (1997), Фази логика и неуронске мреже, *Техничка књига*, Београд, ст. 201.

Zadeh L. (1965), Fuzzy Sets. *Information and Control*, vol. 50, pp. 856– 865.

Branislav Bajat, Dusan Joksic, Zoran Nedeljkovic

## FUZZY VIEW OF ENVIRONMENT

### Summary

Application of Geographical information Systems (GIS) technology broadens new approaches and methodologies of spatial data analysis. Increasing needs for spatial data and efficient tools which are intended for their analysis could be fulfilled by using geoinformation's technologies. In the last decade of the twentieth century and the beginning of new millennium, at the same time with GIS development, we are witnessing of the expansion of technologies engaged in acquisition and transfer of spatial data. This has resulted by increasing volume of attainable data and also increasing awareness for their critical quality and reliability perceiving and suitability evaluation for particular application.