SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE

V A R A Ž D I N

**Franjo Nestić**

PROSTORNE I ZEMLJOPISNE BAZE PODATAKA

ZAVRŠNI rad

Varaždin, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET ORGANIZACIJE I INFORMATIKE

V A R A Ž D I N

Franjo Nestić

Matični broj: 33322/02–I

Studij: Primjena informacijske tehnologije u poslovanju

PROSTORNE I ZEMLJOPISNE BAZE PODATAKA

ZAVRŠNI RAD

 Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Markus Schatten

Varaždin, rujan 2017.

**Sadržaj**

[1. Uvod 1](#_Toc493688167)

[2. Uvod u prostorne i zemljopisne podatke 3](#_Toc493688168)

[2.1. Prostorni SUBP, GIS i prostorni tipovi podataka 3](#_Toc493688169)

[2.1.1. Geografski informacijski sustav 4](#_Toc493688170)

[2.1.2. Model prostornih podataka 5](#_Toc493688171)

[2.1.3. Prednosti i nedostaci rasterskog i vektorskog modela podataka 7](#_Toc493688172)

[2.1.4. Prostorni podaci 8](#_Toc493688173)

[2.1.5. Koordinatni referentni sustav i tipovi objekata 8](#_Toc493688174)

[2.1.6. Atributi 10](#_Toc493688175)

[3. Geoprostorne baze podataka 12](#_Toc493688176)

[3.1. Sustavi za upravljanje bazama podatak (SUBP) i sustavi za upravljanje geografskim bazama podataka (SUGBP) 12](#_Toc493688177)

[3.2. Alati za Implementaciju SUGBP 13](#_Toc493688178)

[3.2.1. Prikaz prostornih tipova podataka i implementacija osnovnih operacija nad tim podacima. 14](#_Toc493688179)

[3.3. Arhitektura SUGBP 15](#_Toc493688180)

[3.3.1. Arhitektura GIS-a temeljena na zatvorenom SUBP 15](#_Toc493688181)

[3.3.1.1. Slojevita arhitektura 16](#_Toc493688182)

[3.3.1.2. Dvojna arhitektura 17](#_Toc493688183)

[3.3.2. Arhitektura s integriranim SUGBP 17](#_Toc493688184)

[4. Modeli geografskih baza podataka 19](#_Toc493688185)

[4.1. Ograničenja relacijskog modela podataka 19](#_Toc493688186)

[4.2. Objektni model 22](#_Toc493688187)

[4.3. Objektno-relacijski model 22](#_Toc493688188)

[4.4. Polustrukturirani model 23](#_Toc493688189)

[5. Oracle Spatial and Graph 25](#_Toc493688190)

[5.1. Pregled proizvoda 25](#_Toc493688191)

[5.2. Vrsta modela podataka koji se koristi 26](#_Toc493688192)

[5.3. Prostorni podaci Spatial and Graph - a 26](#_Toc493688193)

[5.4. Geometrijski tipovi podataka koje koristi Oracle SG 27](#_Toc493688194)

[5.5. Model podataka u Spatial and Graph-u 29](#_Toc493688195)

[5.5.1. Element 29](#_Toc493688196)

[5.5.2. Geometrija 29](#_Toc493688197)

[5.5.3. Sloj 29](#_Toc493688198)

[5.5.4. Koordinatni sustav 30](#_Toc493688199)

[5.5.5. Tolerancija 30](#_Toc493688200)

[5.6. Pozicija Space and Graph sustava na tržištu 31](#_Toc493688201)

[6. Zaključak 32](#_Toc493688202)

[7. Literatura 34](#_Toc493688203)

[Popis korištenih slika 35](#_Toc493688204)

[Popis korištenih tablica 36](#_Toc493688205)

1. Uvod

Geografske i prostorne baze podataka u današnjem informacijskom svijetu imaju vrlo veliki značaj jer im je glavna uloga pohrana, manipulacija, analiza, obrada i prezentiranje podataka koje koriste geografski informacijski sustavi. Takvi sustavi postali su vrlo značajni u današnjem svijetu jer omogućavaju svim korisnicima vrlo brzi pristup relevantnim informacijama vezanim za njihove upite prilikom snalaženja u realnom prostoru.

Stoga će rad biti usmjeren prikazivanju upravo tih baza podataka, prostornih tipova podataka, modelima podataka i primjenjivim vrstama modela podataka za izgradnju geografskih baza podataka kao i realni primjer iz prakse.

Rad je koncipiran u pet glavnih poglavlja od kojih svako donosi nove spoznaje koje vode krajnjem zaključku ovog rada:

* Drugo poglavlje rada prikazuje uvodni prikaz prostornih i zemljopisnih baza podataka. U tom poglavlju prikazat će se osnove prostornih sustava za upravljanje bazom podataka, geografski informacijski sustavi kao korisnici podataka iz takvih baza te osnovni prostorni tipovi podataka. Nadalje, u tom poglavlju biti će riječi o prednostima i nedostacima osnovnih modela podataka u geografskim bazama podataka, o prostornim podacima, koordinatnom referentnom sustavu i atributima.
* U trećem poglavlju detaljnije će biti riječ o samim geoprostornim bazama podataka. Razrada poglavlja započet će sustavom za upravljanje bazom podataka kao i specijaliziranim sustavom za upravljanje geografskim bazama podataka. Tu će prije svega biti riječi o alatima za implementaciju SUGBP kao i arhitekturi SUGBP.
* Četvrto poglavlje namijenjeno je opisu standardnih i specijalnih modela baza podataka, s naglaskom na njihovu primjenjivost za geografske baze podataka. Postoje osnovni standardni modeli podataka o kojima će više riječi biti u tom poglavlju, te će se u tom poglavlju nastojati determinirati koji je od tih modela najpogodniji za izgradnju modela geografske baze podataka. U tom poglavlju dat će se i kritički osvrt na neke od modela i razlog njihove neprimjenjivosti ili teške primjenjivosti za izgradnju geografskih baza podataka.
* Peto poglavlje usmjereno je opisu primjera iz prakse. Pošto danas postoji relativno velika konkurencija vezano uz razvoje SUBP, tako je moguće identificirati i najbolje prakse za SUGBP. Odabrani sustav o kojemu će biti više riječi odnosi se na *Spatial and Graph* sutav tvrtke Oracle koji je danas jedan od najšire korištenih SUGBP. Na tom primjeru nastojat će se prikazati primjenjivosti svih komponenti geografskih baza podataka navedenih u prijašnjim poglavljima rada.
* Zadnje, šesto poglavlje donosi zaključna razmatranja geografskih baza podataka te njihovu primjenu u modernim geografskim informacijskim sustavima.

Nakon uvodnog dijela rada započinje se razrada teme uvodnim teoretskim osnovama geografskih baza podataka, prostornih tipova podataka i njihovom korištenju i modeliranju.

1. Uvod u prostorne i zemljopisne podatke

Prije nego se započne s dubinskom razradom prostornih i geografskih baza podataka, potrebno je dati osvrt na sastavnice tih baza podataka, odnosno na same podatke. Stoga se postavlja pitanje što su zapravo prostorni podaci. Razne literature navode različite definicije, no jedna od općeprihvaćenih definicija govori da su **prostorni podaci oni koji imaju neku prostornu ili geografsku poveznicu koja im omogućava smještanje u neki dvodimenzionalni ili trodimenzionalni prostor** (Heywood et. al., 1998.). Pritom je geografska ili prostorna lokacija odnosno „gdje“ (prostorna komponenta), a „što“ je u suštini atribut.

* 1. Prostorni SUBP, GIS i prostorni tipovi podataka

Sustav upravljanja prostornom bazom podataka (*SUGBP*) i geografski informacijski sustav (GIS) kao glavni korisnik tih informacija usmjereni su spremanju, prikupljanju, upravljanju, prikazu i analizi geometrijskih podataka (Schneider, 1999.). U današnje informacijsko doba, baze podataka i geografski informacijski sustavi postali su jedni od najvećih korisnika informacija koje nude moderni informacijski sustavi. Primjera je nebrojeno. Potrebno je samo pogledati svaki pametni telefon i jednu od njegovih glavnih funkcija, odnosno pretraživanje online karata i traženje informacija koje se prikazuju korisniku. Primjena geografskih informacijskih sustava danas je gotovo neograničena: logistički sustavi, vojni geografski sustavi, komercijalni geografski sustavi i brojne druge komercijalne i nekomercijalne primjene tih sustava, a suština tih sustava su upravo prostorni i zemljopisni podaci, a vezano uz to prostorne i zemljopisne baze podataka.

Dosadašnjim istraživanjima došlo se do zaključka da su za modeliranje geometrija i primjereno prikazivanje geometrijskih podataka u bazama podataka potrebni posebni tipovi podataka. Ti tipovi podataka najčešće se nazivaju **prostorni tipovi podataka** (*eng. spatial data types*). Primjeri tih podataka su točka, linija, no isto tako moguće je uključiti i kompleksnije tipove kao particije ili grafove (poligon) (Schneider, 1999.).

Nabrojeni prostorni tipovi podataka omogućavaju temeljnu apstrakciju za modeliranje geometrijskih struktura u prostoru, njihove veze, svojstva i operacije. Ukoliko ih se definira u dovoljno velikoj mjeri, moguće je uspješno graditi prostorne modele podataka te učinkovite prostorne baze podataka što u konačnici ima najveći utjecaj na kvalitetne outpute prostornih upitnih jezika (Schneider, 1999.).

Suštinski, što bolje se definiraju prostorni tipovi podataka, to je lakše graditi kvalitetni SUGBP koji je podloga svakom GIS-u za prikupljanje podataka radi prikaza informacije koju korisnik želi. Dovoljno detaljno prikupljeni podaci, pohranjeni na kvalitetan način u tablice baze podataka omogućavaju brz, kvalitetan i točan pristup informacijama koje geografski informacijski sustav na temelju korisnikova upita želi pretvoriti u informaciju koja će korisniku biti od koristi.

Pristup koji će dalje biti korišten pokazat će na koji način funkcionira geografski informacijski sustav od vrha prema dolje, odnosno od samog sustava prema prostornim podacima spremljenim u prostornoj bazi podataka. Takvim pristupom prvo će se opisati geografski informacijski sustav.

* + 1. Geografski informacijski sustav

Geografski informacijski sustav (GIS) definira se kao sustav organiziranog hardvera, softvera i ljudskog potencijala i geografskih podataka organiziranih na način da efikasno prikupljaju, spremaju, ažuriraju, upravljaju, analiziraju i prikazuju sve moguće oblike podataka temeljenih na geografskim podacima. Sustav je moguće postaviti samo u slučaju da jezgru sustava čini **prostorna baza podataka** koja na optimizirani način sprema prostorne podatke i atribute (Mclnerney, 2009.). Grafički prikaz GIS-a nalazi se na Slici 1.

Slika - Konceptualni prikaz GIS-a (Mclnerney, 2009.)

Hardware

Ljudi

Software

Prostornipodaci

Analiza

Obrada

Pohrana

Unos

Prezentacija

Prema prikazanome konceptualnom prikazu GIS-a vidljivo je da se u centru nalaze prostorni podaci koje SUGBP unosi, pohranjuje, obrađuje, analizira i prezentira. Ljudski faktor svakako je tu najbitniji jer je zaslužan za izgradnju samog sustava. Iako današnji sustavi veliku količinu informacija prikupljaju automatski, automatski obrađuju, analiziraju i prezentiraju, oni se još uvijek temelje na algoritmima i pravilima koje definira čovjek. Stoga se zaključuje da je ljudski faktor ključan jer je zadužen i za prikupljanje tih podataka i za njihovu prezentaciju, opet ljudima. Hardware i software pritom su sredstvo za što lakše prikupljanje, analizu, obradu i prikaz informacija krajnjem korisniku.

* + 1. Model prostornih podataka

Nakon što je definiran geografski informacijski sustav potrebno je dublje zaviriti u njegovu pozadinu, odnosno u model prostornih podataka. Prema tom modelu kritična komponenta odnosi se na odluku modela podataka koji je osnova geografskog sustava. Pritom su potrebni različiti modeli podataka za prostorne podatke i njihove atribute. Oni su skup konstrukata za opisivanje i prezentaciju odabranih aspekata realnog svijeta unutar računala. Oba modela moraju se moći nositi sa održavanjem podataka, modeliranjem zadataka, analizom zadataka i prezentacijom (Mclnerney, 2009.).

Dva su temeljna modela podataka: **rasterski i vektorski**(Mclnerney, 2009.)**.** Temeljna razlika je u prezentaciji podataka u jednom i drugom modelu koja je prikazana na Slici 2.

Slika - Rasterski i vektorski model podataka (Izvor: http://www.edc.uri.edu/nrs/classes/nrs409509/Lectures/5DataModels/rasvect3.gif)

Na Slici 2 prikazana je rasterska i vektorska interpretacija realnog svijeta sa slike. I dok se kod rasterskog prikaza reprezentacija realnog svijeta ogleda u mrežnoj matrici koju čine ćelije pri čemu jedna ćelija označava jednu vrijednost, kod vektorskog prikaza reprezentacija realnog svijeta vrši se pomoću točaka i linija koje spojene daju vrijednost realnog svijeta sa slike.

* + 1. Prednosti i nedostaci rasterskog i vektorskog modela podataka

Kao i svaki drugi sustav i model podataka, vektorski i rasterski model podataka imaju svoje prednosti i nedostatke koji su ukratko opisani u Tablici 1.

Tablica - Prednosti i nedostaci modela podataka (Izvor: http://www.edc.uri.edu/nrs/classes/nrs409509/Lectures/5DataModels/data\_models.htm)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Raster | Vektor |
| Prednosti | * Dobar za složene analize
* Efikasan kod više slojeva
* Struktura podataka učestala kod slika
 | * Kompaktna struktura podataka
* Efikasan za kodiranje topologije
* Realna reprezentacija oblika
 |
| Nedostaci | * Veliki skupovi podataka
* Teška reprezentacija topologije
* Karte su „manje realistične“
 | * Kompleksna struktura
* Operacije s više slojeva su zahtjevne
* Može izazvati lažan osjećaj točnosti
 |

Prema Tablici 1. Vidljivo je da su prednosti i nedostaci oba sustava komplementarni odnosno što su jednom prednosti to su drugom nedostaci i obrnuto. Primjerice prednost rasterskog skupa podataka je efikasan za prikaz više slojeva na karti, dok je višeslojnu strukturu teže prikazati vektorskim modelom podataka. Nedostatak kod rasterskog modela podataka je što su karte manje realistične, a razlog tome leži da koliko god mala granulacija ćelije rasterske mreže bila, ona ima svoju konačnu vrijednost i pri povećanju ili smanjenju rezolucije dolazi do gubljenja oštrine i prikaz postaje granuliran, dok vektorski s druge strane svojim točkama i linijama koje su spojene vektorima ima značajno realniju reprezentaciju oblika iz realnog svijeta.

Uvodnom analizom vektorskog i rasterskog modela podataka koji su osnova u geografskim informacijskim sustavima, a samim time i njihovi podaci u prostornim bazama podataka, potrebno je definirati što su to prostorni podaci kako bi se moglo kasnije detaljnije dati uvid u prostorne baze podataka i modeliranje istih.

* + 1. Prostorni podaci

Svaki geografski element iz realnog svijeta definiran je kroz svoja svojstva (Mclnerney, 2009.):

* Lokaciju (prostorna referenca)
* Dimenziju
* Atribut
* Vrijeme

Lokacijska odnosno prostorna referenca (*eng. Spatial reference*) odnosi se na (Mclnerney, 2009.):

* Geografsku širinu i dužinu
* Nacionalnu referentnu mrežu
* Adresu i
* Poštanski kod

Kao što je vidljivo prostorna referenca prikazana je geografskim obilježjima te društvenim obilježjima kao što su adresa i poštanski kod. Na taj je način moguće gotovo svaku geografsku točku jedinstveno definirati u bazi podataka.

* + 1. Koordinatni referentni sustav i tipovi objekata

Poznato je da je Zemlja okrugla te isto tako da je ravnu kartu vrlo teško prikazati jer dolazi do izobličenja geometrijskih oblika iz prirodnog okruženja. Danas ne postoji 100% učinkovit način prikazivanja trodimenzionalnog geografskog svijeta u dvodimenzionalnoj projekciji, stoga su geografski informacijski sustavi primorani prikazivati stanje što je moguće realnije u odnosu na realni svijet (Mclnerney, 2009.).

U geografskim informacijskim sustavima postoji nekoliko osnovnih tipova dimenzionalnih tipova objekata:

* Nuldimenzionalni tip objekata
* Jednodimenzionalni tip objekata
* Dvodimenzionalni tip objekata

**NULDIMENZIONALNI TIP OBJEKATA**

Pod nuldimenzonalnim tipom objekta smatra se **točka**(*eng. points*)kao par koordinata u nekom od poznatih referentnih sustava kao primjerice geografska dužina i širina. Točka ima sljedeća obilježja (Mclnerney, 2009.).:

* Točka je nuldimenzionalni kartografski objekt,
* Specificira geometrijsku lokaciju i ni jednu drugu značajnu mjeru,
* Veličina točke može varirati, no područje tog simbola je manje značajno,
* Postoje četiri tipa točke: točka entiteta, točka oznake, točka područja i čvor.

Za točku je najvažnije da reprezentira geometrijski aspekt objekta za koji je važan samo položaj u prostoru što korespondira s navedenim da veličina točke može varirati, ali je veličina tog područja zanemariva. Ukoliko se radi o kartama velikih mjerila, točka označava primjerice grad.

Prema svemu navedenome vidljivo je da točka kao tip objekta ima ulogu jednoznačno definirati neko specificirano geografsko mjesto s time da iako veličina točke može varirati, područje točke na velikom području je zanemarivo.

**JEDNODIMENZIONALNI TIP OBJEKATA**

Jednodimenzionalni tip objekta je **linija** (*eng. lines*)koja se definira kao uređeni slijed točaka povezanih ravnim linijama. Ima sljedeća obilježja (Mclnerney, 2009.).:

* Linijski oblici su jednodimenzionalni oblici, bez obzira što spajaju dvodimenzionalni prostor,
* Linijski segment je izravna povezanost dvije točke,
* Linijski oblik je obično prikazan kao slijed vektora,
* Luk je lokacija točaka koje su definirane matematičkom funkcijom kako bi tvorile zakrivljenu liniju,
* Poveznica ili rub je mjesto susretanja dvaju čvorova.

Jednodimenzionalni tip objekata, odnosno linija spaja dvije ili više nuldimenzionalnih tipova objekata, odnosno točaka. Svaka linija se dakle u modelu podataka opisuje minimalno dvjema ili više nuldimenzionalnih tipova podataka.

Linijom ili nizom povezanih linija prikazuje se niz povezanih objekata u prostoru kao što su primjerice rijeke, ceste, željezničke pruge i slično.

Točke i linije same po sebi nisu dovoljne za prikaz svih geografskih oblika iz realnog svijeta u geografskom informacijskom sustavu, stoga je potrebno proširiti tipove objekata na dvodimezionalne tipove.

**DVODIMENZIONALNI TIPOVI OBJEKATA**

Pod dvodimenzionalnim tipovima objekata smatraju se **područja ili poligoni**(*eng. areas, polygons*)kao uređeni prsten točaka povezanih ravnim linijama kako bi tvorile poligonalne oblike. Područja imaju sljedeća obilježja (Mclnerney, 2009.):

* Područje je dvodimenzionalno, omeđeno kontinuiranim objektima (linijama),
* Unutrašnjost područja je područje koje ne uključuje granice područja,
* Jednostavni poligon sastoji se od unutrašnjeg područja i vanjskog prstena.

Poligon ili područje je apstrakcija za objekte koji su u prostoru dvodimenzionalni poput jezera, države, županije, zemljišta i slično (Galić, 2006).

* + 1. Atributi

Kao što svaki geografski oblik iz realnog svijeta ima svoju lokacijsku referencu, tako postoji i informacija o toj lokaciji koja se naziva **atribut.** Atribut se definira kao neprostorna informacija koja je zapravo oznaka, ime, kategorizacija ili opis povezan s prostornim objektom. Pritom su atributi često jednako važni kao i prostorni podaci te su često i kompleksniji od prostornih podataka (Mclnerney, 2009.). Atributi mogu biti i često jesu jednostavne tekstualne oznake primjerice naziv mjesta, naziv rijeke, naziv planine koji se na neki način spremaju u neku vrstu baze podataka.

Lokacijski tipovi podataka i njihovi atributi stoga idu zajedno, jer lokacija bez atributa i atribut bez lokacije nemaju smisla i geografskom informacijskom sustavu jedan bez drugog nisu od prevelikog značaja. Stoga je potrebno na pravilan način koristiti bazu podataka i spremati podatke o lokacijama i njihovim atributima kako bi sustav od tih podataka mogao proizvesti informaciju koja je od značaja za korisnika.

Česti oblici atributa (Mclnerney, 2009.):

* Nominalni atributi – oni koji razlikuju lokacije bez bilo kakvog rangiranja ili potencijala za aritmetiku,
* Ordinalni atributi – oni koji uključuju rangiranje, ali aritmetičke kalkulacije su besmislene,
* Intervalni atributi – oni kod kojih razlike između njih imaju smisla,
* Odnosni atributi – su oni kod kojih ima smisla dijeliti jednu mjeru s drugom.

Prikazani atributi rangirani su od onih najjednostavnijih prema kompleksnijima ovisno o tome koliko su oni složeni i koliko složene operacije je moguće izvoditi nad atributima.

1. Geoprostorne baze podataka

Nakon općenitog uvoda u geografske informacijske sustave koji su korisnici geografskih podataka pohranjenih u bazu podataka, potrebno je detaljnije razraditi upravo te baze podataka kojima se služe geografski informacijski sustavi.

Geoprostorni sustav baze podataka ima sve značajke standardnog sustava baze podataka s razlikom što ima dodatnu mogućnost za reprezentaciju, manipuliranje i analizu (vršenje upita) objekata u prostoru. Pojednostavljeno, svaki korisnik može promatrati standardne (alfanumeričke podatke) te isto tako i geoprostorne podatke na homogen način koristeći pritom standardne tehnike modeliranja i upitnih jezika (Galić, 2006.).

Problem geografskih informacijskih sustava, a samim time vezano i geoprostornim bazama podataka je u tome što uz standardne tipove podataka koje često nailazimo u standardnim bazama podataka postoje i specijalizirani geoprostorni podaci kojima se ne može manipulirati na standardni način. Potrebni su stoga posebni algoritmi za manipulaciju takvim podacima te tu leži specifičnosti geoprostornih baza podataka.

* 1. Sustavi za upravljanje bazama podatak (SUBP) i sustavi za upravljanje geografskim bazama podataka (SUGBP)

Zadaća sustava za upravljanje bazom podataka je omogućiti računalnu realizaciju modela podataka, što suštinski znači da prikazuje skup objekata i operacija nad tim objektima (Galić, 2006.). Pritom sustav osigurava transformaciju modela na višoj razini apstrakcije u modele na nižoj razini apstrakcije.

Generalni SUBP nije stoga dovoljan na prikaz geografskih tipova podataka te je potrebna specijalizacija sustava za upravljanje geoprostornim podacima koji se naziva **sustav za upravljanje geoprostornim bazama podataka (SUGBP).** Njegove glavne značajke su (Galić, 2006.):

* SUGBP je softverski modul kao proširenje objektno-relacijskog ili objektno-orijentiranog sustava baze podataka,
* Posjeduje geoprostorne apstraktne tipove podataka, s pripadajućim upitnim jezikom koji koristi takve apstraktne tipove podataka (opisani u prethodnom poglavlju – točka, linija i poligon (područje)),
* Isto tako SUGBP podupire prostorno indeksiranje, što u prijevodu znači korištenje djelotvornih algoritama za operacije definirane nad geoprostornim apstraktnim tipovima podataka što podrazumijeva i specifična pravila za optimizaciju upita nad bazom podataka.

Svaki SUBP, pa tako i SUGBP ima dvije osnovne značajke implicitne za svakog korisnika (Galić, 2006.):

* **Postojanost** – kako SUBP upravlja i privremenim i postojanim podacima, očuvanje postojanosti podrazumijeva sposobnost upravljanja jednom i drugom vrstom podataka. Privremeni podaci pritom po završetku rada programa nestaju iz sustava, a postojani imaju odliku da se čuvaju čak i u slučaju iznenadnih prekida rada sustava, a uz sve to SUBP posjeduje mehanizme za automatsku obnovu baze podataka nakon rušenja.
* **Transakcija** – je odlika SUBP da preslikava bazu podataka iz jednog konzistentnog stanja u drugo. Transakcija se obavlja u cjelovitosti ili se prekida, ne postoji dakle mogućnost parcijalnog izvršavanja. Postoji mogućnost izvršavanja više transakcija paralelno, a uloga SUBP je pritom nametanje serijskog izvršavanja transakcija.
	1. Alati za Implementaciju SUGBP

Za implementaciju SUGBP najvažnije su strukture podataka i algoritmi koji služe kao alati ili jedinice za izgradnju unutar različitih sustava. Pritom je glavni problem koji je potrebno riješiti implementacija prostorne algebre na način da se može integrirati u obradu upita sustava baze podataka (Hrtmut Güting, 1994.).

* + 1. Prikaz prostornih tipova podataka i implementacija osnovnih operacija nad tim podacima.

Prije svega potrebno je razumjeti da prikaz prostornih tipova podataka (točke, linije ili poligona) mora biti simultano kompatibilna s dva područja gledanja, odnosno gledišta sustava baze podataka i sustava prostorne algebre.

S gledišta DBMS-a reprezentacija prostornih tipova podataka (Hrtmut Güting, 1994.):

* Je jednaka vrijednostima atributa drugih tipova respektivno generičkim operacijama,
* Mogu biti potencijalno jako veliki,
* Stalno se nalaze na disku i spremljene su na jednoj ili više stranica,
* Mogu se efikasno smjestiti u glavnu memoriju, gdje se dodaju kao vrijednost neke varijable (obično varijabla pokazivača) proceduri implementirajući operacije prostorne algebre,
* Omogućava brojne implementacije generičkih operacija specifičnih tom tipu podataka koje koristi SUBP.

S gledišta prostorne algebre implementacija prostornih tipova podataka obavlja se u nekoj vrsti programskog jezika, najčešće implementacijskom jeziku SUBP, a reprezentacija prostornih tipova podataka (Hrtmut Güting, 1994.):

* Je vrijednost podatka nekog programskog jezika, primjerice poligon,
* Je proizvoljna struktura podataka koja je često kompleksna,
* Podržava dovoljno računalnih geometrijskih algoritama za prostorne algebarske operacije,
* Nije usmjerena samo jednom određenom algoritmu, već je uravnotežena kako bi podržavala dovoljno veliki broj operacija.
	1. Arhitektura SUGBP

Na razini arhitekture sustava, glavni problem je integrirati alate za podršku prostornim tipovima podataka. U odnosu na standardne arhitekture potrebno je usvojiti određena proširenja standardnog SUBP (Hrtmut Güting, 1994.):

* Prezentaciju tipova podataka za prostornu algebru,
* Procedure atomskih operacija,
* Prostornu strukturu indeksiranja,
* Pristup operacijama prostornih indeksa,
* Tehnike filtriranja i pročišćavanja,
* Prostorne algoritme spajanja,
* Troškovne funkcije tih operacija,
* Statistiku za procjenu selektivnosti prostorne selekcije i prostornog spajanja,
* Proširenja optimiziranja upita nad kartama u specijalizirane metode upita,
* Prostorne tipove podataka i operacija unutar definicije podataka i jezika upita,
* Proširenja korisničkog sučelja za upravljanje prikazom iunosom vrijednosti prostornih tipova podataka.

Jedini dobar način za proširenje SUBP za upravljanje geografskim podacima je integriranja arhitektura koja se temelji na proširivom SUBP. No potrebno je isto shvatiti da su geografski informacijski sustavi postojali i prije specijaliziranih i proširenih SUBP. Iz tog razloga moguće je prikazati ranije pristupe izgradnji GIS-a temeljenih na klasičnom SUBP.

* + 1. Arhitektura GIS-a temeljena na zatvorenom SUBP

Prve generacije GIS-a građene su izravno iznad datotečnog sustava i nisu nudile pogodnosti SUBP-a poput visoke razine definicije podataka, fleksibilnih upita, transakcijskog upravljanja i slično. Tek nakon što su SUBP i posebice relacijski sustavi postali dostupni, javili su se pokušaji kako bi ih se iskoristilo kao temelj izgradnje GIS-a. Pritom su nastala dva glavna pristupa, a to su **slojevita arhitektura i dvojna arhitektura** (Hrtmut Güting, 1994.)**.**

* + - 1. Slojevita arhitektura

Prostorna funkcionalnost u takvoj arhitekturi implementirana je na pridruženom SUBP, vrlo često komercijalno dostupno relacijskom sustavu.Prikaz takve arhitekture vidljiv je na Slici 3.

Za takvu arhitekturu postoje dvije moguće strategijaza prikaz prostornih tipova podataka. Prva strategija podrazumijeva da svaka n-torka označava koordinate točke ili segmenta neke linije kako bi se vrijednosti prostornih tipova podataka razbile na sastavne dijelove (primjerice poligon na podskup linija). Pritom je potrebno sagledati glavni nedostatak takvog pristupa, a on se ogleda u tome što je vrijednosti prostornih tipova podataka prvo potrebno rekonstruirati, što značajno povećava cijenu takvog sustava. Druga mogućnost je prikazati vrijednosti prostornih tipova podataka u „dugim poljima“ SUBP što je svakako bolji pristup nego dijeliti vrijednosti prostornih tipova podataka na dijelove. No još uvijek takav sustav ima nedostatke jer sustav za upravljanje bazom podataka upravlja geometrijom samo u obliku neinterpretirani stringova. Pritom je evaluacija bilo kojeg predikata ili operacija nad točnom geometrijom moguća samo na gornjem sloju (Hrtmut Güting, 1994.).



Slika - Slojevita arhitektura GIS-a (Izvor: <http://dna.fernuni-hagen.de/papers/IntroSpatialDBMS.pdf>)

* + - 1. Dvojna arhitektura

Dvojna arhitektura s druge strane, na gornjem sloju integrira dva nezavisna sustava, odnosno sustav upravljanja bazom podataka (klasični oblik) koji upravlja neprostornim podacima i prostorni podsustav koji sprema i upravlja geometrijom. Takav pristup arhitekturi prikazan je na Slici 4.



Slika - Dvojna arhitektura GIS-a (Izvor: http://dna.fernuni-hagen.de/papers/IntroSpatialDBMS.pdf)

U tom pristupu reprezentacija svakog prostornog objekta dijeli se na dva dijela. Prvi dio sadržava neprostorne atribute i sprema se u SUBP, drugi dio prostornog objekta koji sačinjavaju prostorni atributi, sprema se u u strukture podataka implementirane izravno na datotečnom sustavu. Te dvije točke spajaju se logičkim pokazivačima. Glavna prednost takve arhitekture je mogućnost korištenja odgovarajuće prezentacije vrijednosti prostornih tipova podataka, kao i dovoljan broj struktura podataka i algoritama za indeksiranje i postavljanje upita unutar prostornog podsustava (Hrtmut Güting, 1994.).

* + 1. Arhitektura s integriranim SUGBP

Potrebna proširenja SUBP kako bi se ostvarili svi mogući benefiti SUGBP prikazani su u prethodnom dijelu rada, a detaljna istraživanja zahtjeva takvih baza dovela su do integrirane arhitekture koja se ogleda u sljedećem (Hrtmut Güting, 1994.):

* Ne razlikuje standardne tipove podataka kao primjerice STRING i prostorne tipove podataka kao primjerice POLIGON. To znači da sustav takve tipove podataka jednako tretira,
* Sustav ne radi razliku u grupiranju sekundarnih indeksa za standardne atribute i za prostorne atribute,
* „*sort/merge*“ spajanje i „*bounded-box*“ spajanje praktički su isti,
* Mehanizmi za optimizaciju upita ne bi trebali razlikovati prostorne i standardne operacije.

Opisana arhitektura prikazana je na Slici 5 i vidljivo je da nudi prostor za sve ili većinu proširenja koja su opisana u prethodnom dijelu rada, a služe kao proširenje standardnog SUBP u SUGBP. Prema Slici 5 vidljivo je da su prostorne komponente zasjenjene i da su samo neka od područja za proširenje prikazana.



Slika - Integrirana, proširena arhitektura (Izvor: http://dna.fernuni-hagen.de/papers/IntroSpatialDBMS.pdf)

1. Modeli geografskih baza podataka

Pristupi izgradnji geografskih baza podataka različiti su, no potrebno je prije svega istaknuti da svaki model izgradnje SUBP nije dobar za tako kompleksne baze podataka kao što su geografske. Prije svega to proizlazi iz činjenice da takve baze podataka koriste izuzetno zahtjevni i kompleksni informacijski sustavi kao što su geografski. Sukladno tome potrebno je zaključiti da tradicionalni model podataka kao što je primjerice relacijski može biti vrlo dobar za neke tradicionalne poslovne aplikacije, no za složene sustave poput geografskih ima previše nedostataka da bi ga se uspješno koristilo. Prije svega razlog tome leži u činjenici da su geoprostorne baze podataka kompleksnije od tradicionalnih samo po činjenici da koriste prostorne tipove podataka uz tradicionalne što samo po sebi otežava modelirani SUBP.

* 1. Ograničenja relacijskog modela podataka

Kao što je već navedeno u kratkom uvodu relacijski model zbog svojih ograničenja nije povoljan za izgradnju geografskih baza podataka. Objekti iz realnog svijeta koje je potrebno prikazati na primjerice zemljopisnim kartama imaju u relacijskom modelu različite interpretacije. Osim standardnih tematskih oblika primjerice naziva nekog objekta, taj isti objekt ima i geometrijski oblik odnosno prostorni tip podataka – poligon. U relacijskom modelu prirodna reprezentacija tog objekta (uzmimo za primjer zemljište, zgradu i ulicu) bila bi (Galić, 2006.):

$$zemljište\left(općina, broj, oblik\right)$$

$$zgrada\left(općina, adresa, tip, oblik\right)$$

$$ulica(općina, naziv, oblik)$$

Uz to želimo primjerice specificirati i tip, odnosno domenu vrijednosti atributa te time možemo gornju shemu proširiti (Galić 2006.):

$$zemljište\left(općina:string, broj:string,oblik:poligon\right)$$

$$zgrada\left(općina:string,adresa:string, tip:string,oblik:poligon\right)$$

$$ulica(općina:string, naziv:string,oblik:poligon)$$

Ukoliko se objekti specificiraju na taj način, vidljivo je da je s pozicije relacijskog modela, takva reprezentacija neispravna, odnosno da ni jedna relacija ne zadovoljava temeljni uvjet relacijskog modela a to da ona bude atomarna, odnosno nedjeljiva. Domena atributa *oblik* ne može biti atomarna jer ne pripada ni jednoj od atomarnih domena relacijskog modela (integer, real, string, bool...).

Stoga kako bi zadovoljili temeljni uvjet relacijskog modela podataka, potrebno je oblik koji je prema tipu podataka poligon rastaviti na jednostavnije oblike točku i granicu. U tom slučaju gornja reprezentacija se upotpunjuje (Galić, 2006.):

$$točka\left(id:integer, x:real,y:real\right)$$

$$granica(počtočka:integer, krajtočka:integer, lobjekt:string,dobjekt:string)$$

Time su dobivene dvije relacije: *točka i granica.* Svaka od tih relacija opisana je atomarnim atributima.

U bazama podataka jednostavnih poslovnih aplikacija takvih problema nema te nije potrebno dijeliti tipove podataka na jednostavnije, atomarne, dok je u geografskim bazama podataka vrlo često potrebno dijeliti prostorne tipove podataka na jednostavnije, što u slučaju velike količine prostornih tipova podataka nije najpraktičnije rješenje.

U relacijskom modelu idealna situacija bila bi kada bi imali 1:1 korespondenciju između objekta realnog svijeta i prezentacije tog objekta u relacijskom modelu. Tu dolazi do još jednog nedostatka relacijskog modela u geografskim bazama podataka, a to se odnosi na **segmentaciju** u relacijskom modelu. Prema segmentaciji provedenoj na prethodnom primjeru vidljivo je da je jedan objekt iz realnog svijeta rastavljen na dvije relacije u relacijskom modelu, te korisnik prilikom upita nad bazom podataka zapravo mora rekonstruirati taj objekt iz podataka iz baze podataka što svakako nije najpovoljnije (Galić, 2006.).

Još jedan nedostatak relacijskog modela odnosi se na atribute kao identifikatore objekata, pa je tako primjerice točka reprezentirana svojim koordinatama *x* i *y*. Nemoguće je pritom da dvije različite točke imaju iste koordinate, no isto tako granicu je potrebno onda redefinirati tako da je svaka točka definirana svojim dvjema atributima, a promjena samo jedne točke dovodi do promjene njenih atributa što implicira da granica kao tip objekta više nema smisla jer se ne radi više o toj granici kao tipu podatka. Uvodeći pritom novi atribut koji korisnik proizvoljno može dodati točki, primjerice *id* privremeno se rješava problem, i uloga tog atributa je jedinstvena identifikacija n-torke. No problem nastaje što je vrlo rijetko korisnik baze podataka samo jedan korisnik pa se u tom slučaju dovodi u pitanje garantiranje jedinstvene vrijednosti objekata (Galić, 2006.).

Nedostatak relacijskog modela je i u tome što širokodostupni SUBP imaju predefinirane tipove podataka koje je nemoguće proširiti sa specifičnim tipovima podataka kao što su prostorni (točka, linija, poligon).

U prethodnom poglavlju opisana je dvojna arhitektura GIS-a koji sa stajališta korisnika ima dvojnu dimenziju (Galić, 2006.):

* Strukturnu reprezentaciju, koja modelira aktualno stanje objekata i
* Specifikaciju operacija nad objektom.

Strukturna dimenzija još se nekako uspješno može preslikati u relacijski model, no specifikacija operacija nikako ne spada u relacijski model. Ukoliko se te dvije dimenzije odvoje, još se nekako može pričati o reprezentaciji realnog objekta, no svakako više ne govorimo o relacijskom modelu podataka.

Kada se govori o geografskim bazama podataka i ograničenjima relacijskog modela, svakako još treba spomenuti upitni jezik odnosno SQL koji je isto tako neprilagodljiv za specijalne tipove podataka kao što su prostorni. Kompleksne operacije, odnosno upiti tim jezikom nisu moguće za geoprostorne objekte, jer oni uvode prostorne tipove podataka za koje SQL nije namijenjen.

Prema svemu navedenome zaključuje se da relacijski model nikako nije pogodan za izgradnju geografskih baza podataka upravo zbog prostornih tipova podataka koje je vrlo teško prikazati u relacijskoj bazi podataka. Kako bi se uspješno uklonilo taj problem potreban je drugačiji pristup modeliranju geografske baze podataka.

* 1. Objektni model

Objektno orijentirane baze podataka razvijene su upravo iz razloga što relacijski model nije bio dovoljan za prikaz svih tipova podataka, odnosno one su razvijene za kompleksnija aplikacijska okruženja. Takav model nije ograničen unaprijed definiranim tipovima podataka i upitnim jezikom kao što je SQL (Galić, 2006.).

Objektne baze podataka pohranjuju objekte na vanjskim računalnim memorijskim medijima i podupiru višekorisnički pristup tim objektima.

Ne ulazeći u detaljnu razradu samog objektnog modela baze podataka, moguće je zaključiti da prema svojim svojstvima ima znatno veći potencijal za izgradnju geografskih baza podataka jer osim standardnih tipova podataka koje podrazumijeva relacijski model, objektni model temeljen na objektima i klasama ima mogućnost prikazivanja drugih tipova podataka. Ti tipovi podataka mogu biti različiti te je upravo zato pogodan za razvoj geografskih baza podataka koje odlikuju posebni prostorni tipovi podataka (točka, linija, poligon).

* 1. Objektno-relacijski model

Kako su objekti za pohranu postajali sve kompleksniji razvojem informacijskih sustava i programskih jezika, tako je postojala sve veća potreba za promjenom paradigme pohrane podataka. Relacijski i objektni model sami po sebi više nisu bili dovoljni i javila se potreba za alternativnim pristupom. Tome su svakako doprinijele i potrebe kod geografskih informacijskih sustava koji podrazumijevaju kompleksan skup tipova podataka.

Objektno-relacijski model temelji se na integraciji koncepata objektno-orijentiranih programskih jezika u koncepte baza podataka. Evolucijski pristup, odnosno objektno-relacijski model i objektno-relacijske baze podataka ogleda se u integraciji objektne paradigme u relacijski model podataka, a sve u svrhu proširenja relacijskog modela objektno-orijentiranim karakteristikama (Galić, 2006.).

Temelj objektno-relacijskog modela i objektno-relacijskih baza podataka je upravljanje objektima i pravilima, a da se pritom očuva kompatibilnost s relacijskim modelom i bazama podataka. Takav model proširuje standardni relacijski model temeljnim objektno orijentiranim konceptima: *apstraktni tipovi podataka, učahurenje, višeobličje, nasljeđivanja* i drugi. Tim pristupom podržava se i relacijski i objektni model podataka, odnosno očuvana je djelotvornost relacijskih baza podataka, a da je pritom dobiveno proširenje modela objektno orijentiranim konceptima.

Takva proširenja zapravo s pozicije geografskih baza podataka omogućavaju upravljanje kompleksnim geoprostornim tipovima podataka kao što je primjerice linija ili poligon.

Glavna obilježja objektno-relacijskog modela (Galić, 2006.):

* **Apstraktni tipovi podataka –** podrazumijevaju da postoji mogućnost definiranja klasa podataka koji se sastoje od atributa i operacija, a da se pritom mogu sakriti detalji njihove implementacije (učahurivanje),
* **Nasljeđivanje –**odnosi se na mogućnost da više tipova podataka dijeli iste atribute i operacije,
* **Identitet objekata –** svaki apstraktni, odnosno korisnički definirani tip podataka ima svoj jedinstveni identifikator koji korisnici ne vide,
* **Višeobličje/preopterećenje –**postojanje više operacija s istim nazivom, a različitom semantikom, odnosno mogućnost vršenja operacija nad različitim tipovima podataka.
	1. Polustrukturirani model

Polustrukturirani model podataka nastao je iz potrebe za interoperabilnošću između različitih baza podataka koje su temelj za izgradnju sustava koji su spojeni na internet. GIS-ovi su tipični primjer takvih sustava koji danas vrlo često egzistiraju na internetu jer koriste geoprostorne podatke u različitim formatima te u različitim modelima podataka (bilo da se radi o objektnim ili objektno-relacijskim). Razlog nastanka takvog modela je u dvije temeljne barijere: *sintaktička i semantička* heterogenost (Galić, 2006.).

Sintaktička heterogenost podrazumijeva korištenje različitih načina zapisa podataka. Semantička heterogenost nastaje kada dva ili više geografskih informacijskih sustava koriste različite sinonime za objekt iz realnog svijeta. Primjerice to može biti razlika u samom nazivlju objekta kao što je „parcela“ i „zemljište“, pa iako su različiti podrazumijevaju potpuno isti objekt iz realnog svijeta. Upravo takva heterogenost je posljedica postojanja različitih informacijskih zajednica koje upotrebljavaju različite nazive za potpuno iste objekte. U tu svrhu razvijen je jezik XML (*eng. eXtensible Markup Language*) te isto tako njegov podjezik nazvan GML (*eng. Geography Markup Language*) (Galić, 2006.).

GML je standard za kodiranje, pohranu, prijenos i razmjenu geoprostornih podataka na internetu. Utemeljen je u cijelosti na XML-u te se samim time smatra XML vokabularom za razmjenu geoprostornih podataka koje koriste geoprostorne baze podataka (Galić, 2006.).

1. Oracle Spatial and Graph

Kako su geoprostorne baze podataka danas vrlo raširene, tako su i tvrtke koje razvijaju takve baze podataka i SUGBP aktivne kako bi pružile što je moguće bolja rješenja za svoje korisnike. Od brojnih proizvoda koji se nude na tržištu, u ovom će radu biti dan pregled jednog od najpoznatijih sustava – **Oracle Spatial and Graph.**

* 1. Pregled proizvoda

*Oracle Spatial and Graph* omogućava napredne mogućnosti za analizu prostornih podataka i za fizičke, logičke, mrežne, društvene i semantičke primjene pri razvoju geografskih informacijskih sustava.

Prostorna obilježja omogućavaju shemu i funkcije koji olakšavaju pohranu, prikupljanje, ažuriranje i izvršavanju upita na skupinama prostornih obilježja u Oracle bazi podataka. Proizvod se sastoji od (Oracle, 2017.):

* Sheme koja propisuje spremište, sintaksu i semantiku podržanih geometrijskih tipova podataka,
* Mehanizam za prostorno indeksiranje,
* Operatore, funkcije i procedure za izvršavanje upita nad područjima od interesa, upite prostornog spajanja i druge operacije prostorne analize,
* Funkcije i procedure za operacije korisnosti i ugađanja,
* Topološki podatkovni model za rad s podacima vezanim uz čvorove, granice i oblike u topologiji,
* Mrežni podatkovni model za reprezentaciju mogućnosti ili objekte koji su modelirani kao čvorovi i poveznice u grafičkom prikazu,
* GeoRaster, mogućnost koja dozvoljava spremanje, indeksiranje, postavljanje upita, analizu i isporuku GeoRaster podataka, što znači rasterske slike i mrežnih podataka te povezanih metapodataka.

Prema svemu nabrojenome, *Oracle Spatial and Graph* omgućava korisniku najširu paletu obrade geoprostornih podataka za korištenje prilikom izgradnje neke vrste GIS-a.

Prostorna komponenta prostornog obilježja je geometrijska reprezentacija njezinog oblika u nekom koordinatnom sustavu. To označava njenu geometriju.

* 1. Vrsta modela podataka koji se koristi

*Spatial and Graph* koristi objektno-relacijski model za reprezentaciju geometrije. Taj model u sustavu pohranjuje cjelokupnu geometriju u Oracle-ovognativnog prostornog tip podataka za vektorske podatke koji se naziva SDO\_GEOMETRY. Tablica može sadržavati jedan ili više stupaca s tim tipom podataka. Objektno-relacijski model pritom odgovara implementaciji tablice prostornih oblika u Open GIS ODBC/SQL specifikaciji za geoprostorne oblike.

Kako sustav koristi objektno-relacijski model, glavne prednosti koje omogućuje su (Oracle, 2017):

* Podrška brojnim geometrijskim tipovima, uključujući lukove, krugove, spojene poligone, spojene stringove linija i optimizirane pravokutnike,
* Jednostavnost uporabe u kreiranju i održavanju indeksa i vršenju prostornih upita,
* Održavanje indeksa kroz Oracle bazu podataka,
* Geometrije modeliranja u jednom stupcu,
* Optimalne performanse.
	1. Prostorni podaci Spatial and Graph - a

Alat je dizajniran za lakše upravljanje prostornim podacima te je prirodniji korisnicima za lokacijske aplikacije i GIS aplikacije. Jednom kada su prostorni podaci pohranjeni u bazu podataka, s njima je moguće vrlo jednostavno manipulirati, izvlačiti ih te stavljati u odnos sa svim drugim podacima u bazi podataka.

Tipični primjer prostornih podataka moguće je vidjeti na autokarti. Autokarta je dvodimenzionalni objekt koji sadrži točke, linije i poligone koji prikazuju gradove, ceste i političke granice primjerice država, regija, županija. Takvim prikazom autokarta postaje vizualizacija geografskih informacija. Lokacija geografskih objekata koja postoji u realnom svijetu je projicirana u dvodimezionalni prikaz na komadu papira, čuvajući pritom relativne pozicije i relativne udaljenosti prikazanih objekata.

Podaci koji upućuju na poziciju na površini Zemlje kao geografska širina i dužina prikazanih objekata su zapravo prostorni podaci. Prilikom ispisa karte takvi prostorni podaci koriste se kako bi se projicirale lokacije objekata na dvodimezionalnom papirnom prikazu. GIS se pritom koristi kako bi se spremili, prikupili i prikazali prostorni podaci relativni stvarnom svijetu.

Osim tih podataka, *Spatial and Graph* može pohraniti i druge podatke primjerice iz nekog CAD sustava ili CAM sustava. Umjesto korištenja prostornih podataka u tom slučaju radi se o podacima manjeg obima, primjerice za automobilski motor.

Razlike u tim sustavima ogledaju se u veličini i preciznosti podataka, a ne u složenosti podataka (Oracle, 2017.).

* 1. Geometrijski tipovi podataka koje koristi Oracle SG

Geometrija je uređeni slijed vrhova koji su povezani segmentima ravnih linija ili kružnim lukovima. Semantiku geometrije određuje tip. *Spatial and Graph* pdržava nekoliko primitivnih tipova i geometrija kreiranih kolekcijom tih tipova uključujući i dvodimenzionalne kao (Oracle, 2017.):

* Točke i klasteri točaka,
* Stringovi linija,
* Poligoni n-točaka,
* Stringovi luk linija (svi lukovi generiraju se kao kružni lukovi),
* Luk poligoni,
* Spojeni poligoni,
* Spojeni stringovi linija,
* Krugovi,
* Optimizirani pravokutnici.

Kako su u prethodnim dijelovima rada detaljno objašnjeni prostorni tipovi podataka, u ovom će se dijelu samo zaključiti da *Spatial and Graph* koristi standardne oblike prostornih tipova podataka u njihovoj originalnoj definiciji.

Alat pritom ne podržava poligone koji se preklapaju iako su preklapajuće linije podržane. Ukoliko string linije križa sam sebe on ne postaje poligon i nema područje koje uključuje, odnosno i dalje se radi o liniji. Slika 6 prikazuje geometrijske tipove podataka koje podržava Spatial and Graph tvrtke Oracle.

Slika - Geometrijski tipovi podataka koje podržava Space and Graph (Izvor: http://www.oracle.com/technetwork/database/options/spatialandgraph/documentation/index.html )

Alat isto tako podržava spremanje i indeksiranje trodimenzionalnih i četverodimenzionalnih geometrijskih tipova podataka, gdje tri ili četiri koordinate označavaju najviše točke objekta koji se definira (Oracle, 2017.).

*Spatial and Graph* tvrtke Oracle je kompleksni sustav za koji tvrtka nudi detaljni opis funkcionalnosti i načina obrade podataka. Kako bi se izbjeglo preopširno opisivanje samog alata u nastavku će još detaljno biti pojašnjen model podataka i elementi modela podataka *Spatial and Graph* sustava.

* 1. Model podataka u Spatial and Graph-u

Prostorni model podataka u Spatial and Graph sustavu je hijerarhijska struktura koja se sastoji od elemenata, geometrija i slojeva. Slojevi su sastavljeni od geometrija, koji se sastoje od elemenata kao sastavnih dijelova (Oracle, 2017.).

* + 1. Element

Element je temeljna gradivna jedinica geometrije u sustavu. Podržani prostorni tipovi elemenata su standardni: točka, linija i poligon. Kao primjer navodi sustav zviježđa (sustav točaka), cesta (stringova linija), i granice država (poligoni). Svaka koordinata je element koji se pohranjuje kao par *x,y.* Vanjski prsten ili veći broj unutarnjih prstenova (rupe) složenih poligona smatraju se isto tako zasebnim elementima (Oracle, 2017.).

* + 1. Geometrija

Geometrija ili geometrijski objekt je reprezentacija prostornog oblika modeliranog kao uređenog skupa primitivnih elemenata. Geometrija se može sastojati od jednog elementa, koji je primjer jednog od podržanih primitivnih tipova ili homogena ili heterogena kolekcija elemenata. Multipoligon kojim se primjerice prikazuje neki otok, je zapravo homogena kolekcija. Heterogena kolekcija, s druge strane, je ona u kojoj su elementi različitih tipova, primjerice točka i poligon (Oracle, 2017.).

Primjer geometrije može opisati područje za gradnju u nekom prostoru gdje se to područje prikazuje kao poligon s „rupama“ gdje određeni prirodni oblici sprječavaju gradnju, primjerice stijena ili neki drugi geografski oblik.

* + 1. Sloj

Sloj je još viša razina geometrijskog tipa u *Spatial and Graph* sustavu koji se sastoji od geometrija koje imaju iste atribute. Kao primjer jedan GIS može sadržavati topografske oblike, dok drugi opisuje gustoću naseljenosti, a treći opisuje mrežu cesta i mostova u području (točke i linije). Pritom se geometrije i prostorni indeks za svaki sloj spremaju u bazu podataka u standardne tablice (Oracle, 2017.).

* + 1. Koordinatni sustav

Koordinatni sustav koji se isto tako naziva prostorni referentni sustav ima ulogu dodjeljivanja koordinata lokaciji i uspostavljanje veze između skupova takvih koordinata. Omogućava interpretaciju skupa koordinata kao reprezentacije pozicija u realnom svijetu.

Svi prostorni podaci imaju koordinatni sustav povezan s njima. Koordinatni sustav može biti georeferentni (povezan sa specifičnom reprezentacijom Zemlje) ili negeoreferentni (kartezijski i ne povezan sa specifičnom reprezentacijom Zemlje).

Prostorni podaci mogu biti povezani s kartezijevim, geodetskim, projiciranim ili lokalnim koordinatnim sustavom (Oracle, 2017.):

* Kartezijeve koordinate mjere poziciju točke od definiranog izvora uzduž osi koja je okomita u reprezentiranom dvodimenzionalnom ili trodimenzionalnom prostoru. Ukoliko koordinatni sustav nije isključivo povezan s geometrijom, kartezijski koordinatni sustav podrazumijeva se sam po sebi.
* Geodetske koordinate su kutne koordinate (širina i dužina) usko povezane sa sfernim polarnim koordinatama i definiraju se relativno prema određenom geodetskom podatku.
* Projicirane koordinate su neravne kartezijske koordinate koje su rezultat izvođenja matematičkog mapiranja od točke na površini zemlje na ravnu površinu. Postoje mnoga matematička mapiranja od kojih se svaka koristi za posebne svrhe.
* Lokalne koordinate su kartezijske koordinate u negeografskom koordinatnom sustavu. Sustav lokalnih koordinata često se koristi za primjenu kod CAD sustava.
	+ 1. Tolerancija

Tolerancija se koristi za povezivanje razine preciznosti sa prostornim podacima. Tolerancija reflektira udaljenost na kojoj mogu biti dvije točke a da se još uvijek smatraju istom. Vrijednost tolerancije mora biti pozitivan broj veći od nule. Značaj vrijednosti ovisi o tome je li prostorni podatak povezan s geodetskim koordinatnim sustavom (Oracle, 2017.).

Tolerancija je vrlo bitna kod primjerice različitih mjerila karata u GIS-u gdje u jednom mjerilu točka može označavati grad na nekom području, a u manjem ili većem mjerilu karte ta ista točka ne zauzima isti prostor. U tom slučaju vrlo je bitna udaljenost kako bi se što zornije reprezentirao stvarni svijet.

* 1. Pozicija Space and Graph sustava na tržištu

Tvrtka Oracle kontinuirano ulaže u proširenje funkcionalnosti u Spatial and Graph sustavu. Prije se taj sustav nazivao samo Spatial no proširenjima je tvrtka odlučila alat proširiti na dodatno na proširenje za prikaz grafova. Taj alat je trenutno dominantni na tržištu kada se govori o osiguravanju mogućnosti rukovanja geoprostornim podacima u okviru objektno-relacijskih baza podataka (Skopljak i Šljivarić, 2007.).

1. Zaključak

Obradom zadane teme rada moguće je zaokružiti temu i dati generalne zaključke rada povezano uz geografske i prostorne baze podataka.

Prije svega obradom teme došlo se do zaključka da su geografske baze podataka same po sebi znatno složenije od klasičnih poslovnih baza podataka. Razlog tome leži u činjenici da one osim standardnih tipova podataka koriste i prostorne tipove podataka koji ne postoje u klasičnim poslovnim bazama podataka. Osnovni geografski tipovi podataka su točka, linija i poligon. Reprezentacija takvih tipova podataka u klasičnim modelima baza podataka relativno je složena, posebice iz razloga što su tipovi podataka u klasičnim modelima baza podataka relativno dobro tipizirani i standardni.

Tipični primjer je relacijski model baze podataka koji u svojoj osnovi ima preddefinirane tipove podataka koji su izuzetno primijenjivi na klasične baze podataka, no nedovoljni za prikaz prostornih tipova podataka. Zaključuje se da su za izgradnju geografskih baza podataka pogodniji drugi modeli kao što su objektni, objektno-relacijski i polustrukturirani model baze podataka. Ti modeli koriste prednosti neformaliziranih tipova podataka i mogućnosti dodavanja tipova podataka od strane korisnika. Na taj način zaobilazi se nedostatak relacijskih baza podataka koje ne mogu prikazati prostorne tipove podataka.

U opisu praktičnog primjera iz prakse uzet je alat tvrtke Oracle – *Spatial and Graph.* To je načešći SUGBP danas i veliki geografski informacijski sustavi koriste upravo *Spatial and Graph* za pohranu, upravljanje i prikaz prostornih podtaka. Za razliku od čestih primjera iz prakse, kod opisa tog sustava vidljivo je da on gotovo pa vjerno prati teoretske postavke geografskih baza podataka i prostornih tipova podataka, s dodatnim proširenjima ovisno o specifičnim značajkama sustava koji ga koristi i korisničkih zahtjeva. Temeljne postavke sustava bazirane su na osnovnim tipovima prostornih podataka s dodatnim proširenjima kao i na objektno-relacijskom modelu baze podataka.

Generalni zaključak rada je da napretkom informacijske tehnologije, a samim time i informacijskih sustava dolazi do naprednijih zahtjeva za specijaliziranim bazama podataka. Geografski informacijski sustavi koriste izrazito veliku količinu podataka kako bi prikazali stanje realnog svijeta u dvodimenzionalnom ili trodimenzionalnom prostoru. Za prikaz takvih složenih reprezentacija realnog svijeta neophodno je korištenje različitih novih tipova podataka kako bi se što zornije prikazala stvarnost. Klasične baze podataka ne mogu obraditi posebne tipove podataka kao što su prostorni i potrebna su proširenja modela baza podataka. Vezano uz geografske informacijske sustave u budućnosti se mogu očekivati sve veće detaljizacije prikaza realnog svijeta, što će implicirati dodatne promjene u modelima baza podataka kako bi se uspješno izgradile geografske baze podataka.

1. Literatura
2. Galić, Z., *Geoprostone baze podataka,* Tehnička knjiga, Zagreb, 2006.
3. Heywood, I; Cornelius, S.; Carver, S. (2002) *An Introduction to Geographical Information Systems.* Prentice Hall.
4. Hrtmut Güting, R., *An Introduciton to Spatial Database Systems,* Fern Universität Hagen, 1994.
5. Mclnerney, D.,  *Introduction to Spatial Data Types*, Urban Institute Ireland, 2009. (Izvor: <http://www.ucd.ie/sumschol/pdf/dmci_spatial-data-types.pdf> učitano: 8.9.2017.)
6. Oracle, *Spatial and Graph Tutorial,* 2017. (Izvor: <http://docs.oracle.com/database/122/SPATL/spatial-concepts.htm#SPATL484> učitano:15.9.2017.)
7. Schneider, M., *Spatial Data Types: Conceptual Fuundation for the Desigh and Implementation of Spatial Database Systems and GIS,*Fern Universität Hagen. (Izvor: <https://www.cise.ufl.edu/~mschneid/Service/Tutorials/TutorialSDT.pdf> učitano: 3.9.2017.)
8. Skopljak, B., Šljivarić, M., *Svjetsko tržište geoprostornih tehnologija,* Ekscentar, 2007. (Izvor:<https://hrcak.srce.hr/file/19197> učitano: 10.9.2017. )
9. Web stranica Sveučilišta u Rhode Islandu (Izvor: [http://www.edc.uri.edu/nrs/classes/nrs409509/Lectures/5DataModels/data\_models.htm)Učitano](http://www.edc.uri.edu/nrs/classes/nrs409509/Lectures/5DataModels/data_models.htm%29U%C4%8Ditano): 10.9.2017.)

Popis korištenih slika

[Slika 1 - Konceptualni prikaz GIS-a (Mclnerney, 2009.) 5](file:///C%3A%5CUsers%5CMatija%5CDesktop%5Cza%20edit.docx#_Toc493686025)

[Slika 2 - Rasterski i vektorski model podataka (Izvor: http://www.edc.uri.edu/nrs/classes/nrs409509/Lectures/5DataModels/rasvect3.gif) 6](#_Toc493686026)

[Slika 3 - Slojevita arhitektura GIS-a (Izvor: http://dna.fernuni-hagen.de/papers/IntroSpatialDBMS.pdf) 16](#_Toc493686027)

[Slika 4 - Dvojna arhitektura GIS-a (Izvor: http://dna.fernuni-hagen.de/papers/IntroSpatialDBMS.pdf) 17](#_Toc493686028)

[Slika 5 - Integrirana, proširena arhitektura (Izvor: http://dna.fernuni-hagen.de/papers/IntroSpatialDBMS.pdf) 18](#_Toc493686029)

[Slika 6 - Geometrijski tipovi podataka koje podržava Space and Graph (Izvor ) 28](#_Toc493686030)

Popis korištenih tablica

[Tablica 1 - Prednosti i nedostaci modela podataka (Izvor: http://www.edc.uri.edu/nrs/classes/nrs409509/Lectures/5DataModels/data\_models.htm) 7](#_Toc493686053)