

INDEKSIRANJE VEKTORSKIH PROSTORNIH PODATAKA U SISTEMU ZA PRAĆENJE MOBILNIH OBJEKATA

Vladan Mihajlović, Slobodanka Đorđević-Kajan, Aleksandar Dimitrijević, *Elektronski fakultet u Nišu*

Sadržaj – Povećanje efikasnosti korišćenja podataka kod standardnih geografskih informacionih sistema (GIS) postiže se upotrebom indeksnih struktura. GIS za praćenje pokretnih objekata ima dodatni zahtev za prikazom podataka, primljenih od uređaja za određivanje pozicije, u realnom vremenu. Da bi se udovoljio ovaj zahtev, proveren je uticaj uvođenja R i R^* stabla na performanse sistema. Rezultati sprovedene analize su prikazani u radu, kao i najefikasnija varijanta R^* stabla koja je implementirana u sistemu u svrhu skraćivanja vremena iscrtaavanja vektorskih podataka.

1. UVOD

Prostorni podatak je podatak koji predstavlja objekat realnog prostora definisan u nekom koordinatnom sistemu, podatak virtuelnog prostora nastalog transformacijom realnog prostora ili podatak definisan u nekom matematičkom prostoru. Specifičnost prostornih podataka je količina skalarnih podataka potrebna da bi se predstavio jedan prostorni podatak. Činjenica je da prostor obično sadrži veliki broj prostornih podataka, što znači da je za smeštanje ovih podataka potrebna velika količina spoljne memorije. Na efikasnost korišćenja ovog složenog tipa podataka najveći uticaj ima količina podataka koju procesor treba da obradi. Za eliminisanje uticaja hardvera na rad aplikacija koje koriste prostorne podatke osmišljene su strukture podataka čiji je cilj smanjenje broja informacija, a čime se istovremeno smanjuje opterećenje procesora.

Prethodno navedeni razlozi jasno ukazuju da se za manipulaciju prostornim podacima ne može koristiti standardni sistem za upravljanje bazama podataka (DBMS). To je dovelo do razvoja posebnog DBMS-a za prostorne podatke – prostornog DBMS-a (Spatial DBMS). Jezgro SDBMS-a poseduje metode za preslikavanje prostornih podataka u skalarne, i obratno, kao i metode pribavljanja prostornih podataka. Četiri su komponente jezgra SDBMS-a: prostorna taksonomija, modeli prostornih podataka, prostorni upitni jezici i strategije za izvršavanje upita i metodi pristupa prostornim podacima. Prostorna taksonomija predstavlja domen problema koji određuje parametre prostornih podataka i unosi odgovarajuća ograničenja. Model podataka predstavlja apstrakciju raznolikosti konkretnih prostornih podataka koji skriva detalje o njihovoj organizaciji u bazi podataka. Najčešće se koriste objektni modeli [1].

Prostorna taksonomija i modeli određuju način smeštanja podataka. Presudan uticaj na kvalitet DBMS-a imaju načini pribavljanja podataka. Za povećanje efikasnosti izvršenja upita koristi se indeksiranje. Međutim, indeksne strukture namenjene skalarnim tipovima podataka nisu podjednako dobre za prostorne podatke, pa su razvijene nove strukture za ovu vrstu podataka. U ovom radu biće razmatrana efikasnost R i R^* stabla kao popularnih i kvalitetnih indeksnih struktura namenjenih prostornim podacima.

Indeksiranje je danas sastavni deo prostornog DBMS-a u oblastima kao što su geografski informacioni sistemi (GIS), sistemi za projektovanje uz pomoć računara (CAD), računarski vid (Computer Vision), multimedijalni informacioni sistemi (MMIS) i sistemi za upravljanje velikom količinom heterogenih podataka (Data Warehousing). Prostorni indeksi se koriste i u domenima vremenskih i objektno-orjentisanih podataka.

U oblasti geografskih informacionih sistema su zabeleženi početci primene indeksnih struktura specijalno napravljenih za prostorne podatke. Moderni, hibridni GIS sistemi obezbeđuju podršku za dva osnovna tipa podataka u GIS-u: rastersku podlogu i vektorske slojeve. Složenost ovakvih sistema indukuje potrebu da se poveća efikasnost iskorišćenja procesorskog vremena. To se postiže ubrzanjem prikazivanja prostornih podataka u vektorskim slojevima, kao jedne od vremenski zahtevnih operacija. Poboljšanja koja se time postižu su opisana u nastavku ovog rada.

U narednom odeljku će biti data definicija indeksa, osnovni tipovi indeksiranja prostornih podataka, definicije R i R^* stabla, indeksnih struktura čije su performanse ispitivane u ovom istraživanju. Treći deo sadrži opis sistema za praćenje mobilnih objekata u realnom vremenu u kojoj je unapređena efikasnost korišćenja prostornih podataka. Način provere performansi aplikacije i rezultati dobijeni testiranjem R i R^* stabla navedeni su u preposlednjem odeljku. Na kraju rada su predstavljene zaključici o prednostima koje donosi uvođenje indeksnih struktura u pomenuti sistem.

2. INDEKSIRANJE PROSTORA R I R^* STABLIMA

Prostorni indeks je struktura podataka koja razvrstava podatke u skupove na osnovu nekog prostornog atributa čije vrednosti su karakteristične za svaki od skupova. Pribavljanje podskupa podataka koji zadovoljavaju postavljene prostorne kriterijume predstavlja upit nad prostornim podacima. Korišćenjem prostornih indeksa pri izvršenju upita smanjuje se broj podataka koji mogu da budu rezultat upita. Dakle, indeksima se ostvaruje glavni cilj, ubrzanje pretraživanja prostorne baze podataka, tj. redukcija broja pristupa podacima.

Složenost prostornih podataka utiče na to da se oni predstavljaju aproksimacijama kako bi se ubrzalo izvršenje upita. Indeksne strukture se, stoga, ne formiraju nad samim podacima, već na osnovu aproksimacija. Pribavljanje prostornih podataka, tj. izvršenje opšteg prostornog upita, se odvija kroz sledeća tri koraka:

1. Obilaskom indeksne strukture izdvajaju se objekti koji mogu biti rezultat traženog upita. Za razliku od prostih tipova podataka ovaj skup je obično znatno širi od skupa koji predstavlja konačni rezultat izvršenja upita.

2. Vršiti se filtriranje promašaja poređenjem aproksimacija objekata, pri čemu tačnost aproksimacije poboljšava filtriranje, a obrnuto je srazmerna brzini poređenja.

3. Suženi skup realnih objekata se ispituje i izdvaja se rezultat upita.

Kako je ubrzanje izvršenja prostornog upita glavni cilj korišćenja indeksnih struktura, to su upiti presudno uticali na kriterijume po kojima su indeksi projektovani. Kod indeksiranja skalarnih podataka postoji jednoznačnost u izboru atributa po kome će se obaviti podela podataka na izdvojene grupe. Pošto prostor nije jednodimenzionalan treba obaviti njegovo preslikavanje na jednodimenzionalni memorijski prostor. To je glavni nedostatak indeksa skalarnih podataka pri primeni na prostorne podatke. Dva osnovna svojstva karakterišu prostorne indekse: kriterijumi koji se koriste pri deli prostora podataka i način na koji se podatak

svrstava u odgovarajući podprostor određen samom strukturom. Na osnovu ova dva svojstva izdvajaju se sledeći prilazi indeksiranju prostornih podataka [2]:

1. **Transformacioni prilaz** kod koga se mogu izdvojiti dva modela: indeksiranje prostora parametrima i preslikavanje u prostor jednog atributa. Nakon obavljenih transformacija može se iskoristiti neka od struktura namenjenih skalarnim podacima.

2. **Indeksiranje stvarnog prostora bez preklapanja podprostora** podrazumeva dve klase: umnožavanje objekata i ukrajanje objekata. Osnovna odlika ovog prilaza je da mogu da se iskoriste indeksne strukture namenjene tačkastim objektima. Najveći nedostatak je nepotrebno umnožavanje objekata (tj. njihovih identifikatora) što zahteva dodatni prostor za njihovo smeštanje.

3. **Indeksiranje realnog prostora sa dozvoljenim preklapanjem između podprostora.** Ovaj prilaz koristi potpuno nove strukture posebno osmišljene za prostorne podatke. Osnovna ideja u ovom prilazu je hijerarhijska podela prostora na podprostore. Da bi se obezbedilo da ceo objekat bude smešten unutar podprostora dopušteno je njihovo preklapanje. Prednost pristupa je hijerarhijsko uređenje podataka u originalnom prostoru, a mana povećani troškovi operacija održavanja strukture. Ovim prilazom se ne narušava, već održava, relacija prostorne bliskosti među podacima, koja predstavlja temelj svakog metričkog prostora. Što je još bitnije prostorna bliskost je očuvana na svakom nivou hijerarhijski uređene strukture.

Zbog navedenih prednosti pri realizaciji u konkretnom sistemu odabran je poslednji pristup koji dozvoljava preklapanje među podprostorima. R i R* stablo su predstavnici ovog pristupa koji se ističu svojom jednostavnošću kriterijuma podele prostora i efikasnošću. Ovi indeksi su projektovani tako da se mogu koristiti za indeksiranje podataka iz prostora sa više dimenzija. Međutim, namena im je bila indeksiranje dvodimenzionalnih prostora, što je i potrebno u sistemu za praćenje pokretnih objekata u realnom vremenu. Ranije je napomenuto da se stabla formiraju na osnovu aproksimacija realnih prostornih objekata. Aproksimacija dvodimenzionalnog podataka je pravougaonik, stranica paralelnih osama koordinatnog sistema, određen levim donjim i desnim gornjim temenom.

R stablo [3] je hijerarhijska indeksna struktura, visinski izbalansirana, u čijim listovima se nalaze identifikatori podataka (objekata originalnog prostora). Struktura je napravljena po ugledu na strukturu B+ stabla [4]. R stablo je dinamička indeksna struktura i ne zahteva periodičnu reorganizaciju. Elementi listova R stabla se sastoje od dva člana, gde prvi predstavlja identifikator prostornog podatka, a drugi njegovu aproksimaciju. Čvorovi na višim nivoima sadrže elemente koji imaju dva podatka. Prvi podatak je pokazivač na podstablo potomak datog elementa čvora, a drugi je ćelija (pravougaonik) koji obuhvata sve ćelije elemenata čvora deteta.

Dve vrednosti karakterišu R stablo: maksimalni (M) i minimalni (m) broj elemenata koji mogu biti smešteni u jednom čvoru stabla ($m < M/2$). Maksimalni broj elemenata stabla se određuje tako da odgovara veličini stranice memorije. Kriterijum o minimalnom broju elemenata stabla može narušiti samo koren. Predložena vrednost koja bi trebalo da formira najefikasnije R stablo je $m=0.4M$. Pošto postoji ograničenje u vidu maksimalnog i minimalnog broja elemenata čvora, pri konstrukciji R stabla mogu se javiti slučajevi potkoračenja ili prekoračenja kapaciteta čvora. Podkoračenje se prevazilazi brisanjem čvora i ponovnim umetanjem preostalih njegovih elemenata. Pri prekoračenju

čvor se deli u dva nova čvora. Podela se vrši po linearnom ili kvadratnom algoritmu. Oba algoritma koriste kriterijum minimizacije pokrivanja novih čvorova, a imena su dobili po složenosti izvršenja. Linearni razmatra element po element i dodaje ga jednoj od grupa po navedenom kriterijumu. Kvadratni koristi kriterijum minimizacije zauzete površine pri izboru sledećeg elementa koga treba dodeliti jednoj od grupa.

Autori R* stabla [5] su pokušali da pokažu da preklapanja čvorova stabla ne vodi strukturi loših performansi. Hijerarhijska podela prostora, mogućnost preklapanja podprostora, minimalan i maksimalan broj elemenata čvora, su zajednički za R i R* stablo. Razlika je u algoritmu koji se koristi pri podeli čvora i kriterijumima koje su autori izdvojili da bi poboljšali performanse strukture: minimizacija veličine ćelija u čvorovima, minimizacija preklapanja među ćelijama, minimizacija veličine obima ćelija i povećanje popunjenosti čvorova. Testiranjem i analizom uticaja ovih kriterijuma autori su definisali operacije umetanja i brisanja elemenata koje razlikuju R* od R stabla. Algoritam koji obrađuje prekoračenje deli čvor na dva dela tako što prvo bira osu i , zatim, bira po njoj najbolju raspodelu elemenata u dva nova. Oba izbora se vrše po jednom od sledećih kriterijuma: minimizacija površine, minimizacija preklapanja ili minimizacija obima. Međutim, R* stablo ne deli uvek čvor pri prekoračenju već samo ako se prekoračenje ne javlja po prvi put na datom nivou. Ukoliko to nije slučaj, vrši se brisanje i ponovno umetanje p elemenata iz prepunjenog čvora. Ovim se vrši reorganizacija strukture i time poboljšava hijerarhijska struktura. Vrednosti koje su autori predložili za parametre R* stabla su $m=0.4M$ i $p=0.3M$.

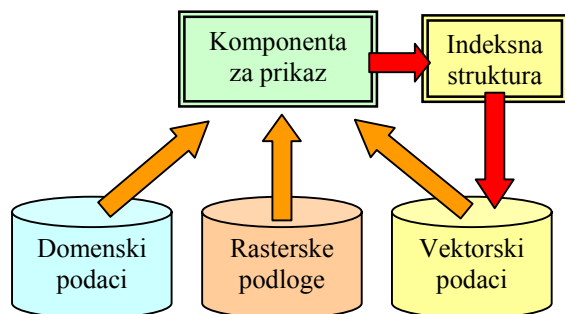
3. SISTEM ZA PRAĆENJE MOBILNIH OBJEKATA

Sistem za praćenje mobilnih objekata je kompletan geografski informacioni sistem. Podaci o geografskoj podlozi predstavljaju osnovu aplikacije. Domenski podaci imaju ugrađenu geografsku komponentu, tj. vezani su za konkretne koordinate prostora. Cilj aplikacije je da omogući kvalitetan uvid u situaciju na konkretnom delu prostora.

Aplikacija integriše obe vrste podataka o realnom prostoru: rasterske i vektorske. Rasterski podaci su dobijeni korišćenjem metodologije za formiranje kontinualne georeferencirane rasterske karte [6]. Metodologija koristi aero snimke ili skenirane geografske karte kao ulaz i na osnovu njih se nakon georeferenciranja i rektifikacije dobija georeferencirana kontinualna rasterska karta. Rasterske podloge za sistem za praćenje prostornih objekata su dobijene skeniranjem geografskih karata. Sistem podržava korišćenje više vrsta georeferenciranih karata. Vektorski slojevi predstavljaju vektorizovane podatke o morima, jezerima, rekama, gradovima (većim mestima), itd. Vektorski podaci su podeljeni po tipu u odgovarajuće slojeve i kao takvi se čuvaju u bazi podataka. Baza je organizovana prema OpenGIS specifikaciji sa smeštanje prostornih podataka [7]. Geometrija podataka je zbog jednostavnosti svedena na poligone i duži. Tačke geometrija su memorisane u Gauss-Kruger-ovoj projekciji.

Sistem prikazuje domenske podatke na geografskoj podlozi. Domenski podaci zavise od primene sistema i mogu biti bilo koji pokretni objekti (automobili, avioni, brodovi,...) čije se pozicije dobijaju od senzora za određivanje njihove pozicije (GPS, radar,...). Ovi podaci se unose u sistem putem modemske veze u realnom vremenu. Ovo je dodatno opterećenje za sistem, jer je potrebno u svakoj sekundi ažurirati podatke o lokacijama domenskih podataka. To je uslovalo razmatranje uvođenja ubrzanja u deo koji obavlja prikaz. U skladu s tim, u aplikaciju je uvedena indeksna

struktura koja vrši klasifikaciju podataka iz vektorskih slojeva. Domenski podaci koji se prikazuju su ostavljeni van indeksne strukture, jer im je brojnost mnogo manja (do 1000 objekata zavisno od aplikacije) i nisu stalno kontinualno prisutni u prikazu.



Sl.1. Struktura prikaznog dela aplikacije

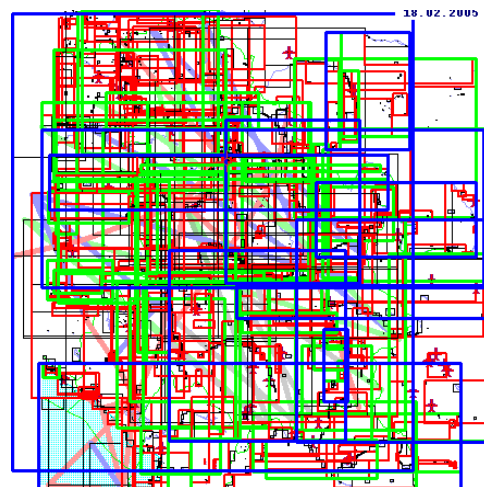
Na slici 1 je data opšta slika rada komponente aplikacije namenjene prikazu. Na njoj nije naznačen redosled korišćenja podataka. Komponenta za prikaz prvo izdvaja deo rasterske podloge koji treba iscrtati na osnovu dela prostora koji korisnik želi da posmatra. Zatim se zahtevaju vektorski podaci koji se nalaze u ovom delu prostora. Umesto da se direktno ispituje da li svaki od podataka pripada zadatoj oblasti, prolazi se kroz indeksnu strukturu i izdvajaju odgovarajući podaci. Izdvojeni podaci se iscrtavaju u prikazu preko rasterske podloge. Na kraju se vrši dodavanje domenskih podataka na kartu formiranu na prethodno opisani način.

4. PROVERA EFIKASNOSTI KORIŠĆENJA INDEKSA

Navedeno je da za ubrzanje rada dela za prikaz u sistemu uvedena indeksna struktura. Jasno je da bi indeksna struktura trebala da omogući brži prikaz, ali je potrebno proveriti i opravdati njihovo korišćenje. Za to je osmišljen i sproveden poseban eksperiment. Ukoliko korisnik želi samo da posmatra ceo prostor, tj. prikazuju se svi vektorski podaci, indeksna struktura neće doprineti ubrzanju, već će naprotiv usporiti iscrtavanje, jer je potrebno obići celu indeksnu strukturu. Međutim, kada se prikazuje samo deo prostora indeksna struktura će izdvojiti samo onaj deo podataka koji je prisutan u tom delu prostora. Stoga je za proveru upotrebljivosti indeksnih struktura korišćen test brzine iscrtavanja vektorskog sloja pri operaciji zumiranja. Sistem ima mogućnost *zoom-in* i *zoom-out* u odnosu na centralnu tačku prikaza ili zumiranje na proizvoljnu oblast koju korisnik može da odabere mišem. Da bi se mogle porediti vrednosti za različite indeksne strukture koje su testirane, nije vršena provera proizvoljnog zumiranja. Merene su brzine prikaza celog prostora, a zatim je obavljano uvećanje rezolucije prikaza 4 puta, tako da je pri svakom uvećanju mereno vreme iscrtavanja. Nakon toga se vršilo umanjeње prikaza (4 puta) do dobijanja prikaza kompletnog prostora. Naravno, pri uvećanju rezolucije prikaza veličina prostora koji se iscrtava u prozoru prikaza se adekvatno smanjuje.

U sistem su ugrađene dve indeksne strukture koje su korišćene za ubrzanje iscrtavanja R i R* stabla. Oba stabla, kao što je ranije opisano imaju ograničenje u maksimalnom broju podataka koji se nalaze unutar čvora stabla, to vršena provera R i R* stabla za različite vrednosti ovog parametra (M). Kako se parametar M određuje tako da veličina čvora stabla odgovara veličini memorijske stranice, to su za proveru odabrane vrednosti M : 13, 28, 56 i 113 (što odgovara stranicama memorije od 0.5kB, 1kB, 2kB i 4kB, respektivno). Ispitivane su obe varijante R stabla – linearna i kvadratna. Za obe varijante odabrano je da minimalni broj

elemenata čvora bude 30% od maksimalnog ($m=0.3M$), kao kompromis u efikasnosti obilaska i zauzeću prostora. Za R* stablo je, takođe, odabrano da je minimalni broj elemenata 30% maksimalnog, iako je preporuka autora da to bude 40%, kako bi se dobile bolje performanse, jer postoji znatno preklapanje među aproksimacijama podataka prostora. Vrednost parametra p je postavljena 30% maksimalnog broja elemenata, na osnovu prethodnog ispitivanja. Kao kriterijum za izbor ose duž koje će biti obavljena podela čvora korišćena je minimizacija obima novonastalih čvorova, dok je za izbor najbolje od mogućih raspodela elemenata u dva nova čvora korišćena minimizacija površine koju će oni zauzeti. Primer R* stabla dat je na slici 2. Na ovoj slici se vide dva unutrašnja nivoa stabla (označena pravougaonicima različitih boja) i aproksimacije nivoa listova (označeni crvenom bojom), iscrtani preko rasterske podloge i vektorskih podataka. Maksimalni broj elemenata čvora prikazanog R* stabla je 13.



Sl.2. Hijerarhijska struktura R* stabla u prostoru podataka

Posmatrajući rezultate (tabela 1) dobijene merenjem vremena potrebnog za prikaz možemo se uveriti u doprinos indeksnih struktura. Očekivano pri prikazu celog prostora indeksne strukture unose kašnjenje usled njihovog obilaska. R* stablo obično ima sporije vreme obilaska u odnosu na konkurente. Ukoliko se posmatra druga i pretposlednja vrsta tabele, gde je obavljeno jednostruko uvećanje rezolucije prikaza, uočava se da su vrednosti približno iste kada se iscrtavanje vrši bez pomoći i uz pomoć indeksne strukture. Ovo ukazuje da se za bolju efikasnost može odbaciti pomoć indeksne strukture u slučaju da se vrši iscrtavanje dela prostora koji zauzima više od polovine ukupnog prostora podataka. Kada se vrši zumiranje veće od dvostrukog lako se uočava prednost uvođenja indeksne strukture. Za slučaj dvostrukog uvećanja prikaza indeksne strukture povećavaju brzinu za oko 5%. Već kod trostrukog prednost na strani indeksa iznosi ne malih 15%. Uvećanje za četiri puta daje prednost korišćenju indeksa od oko 25%. Može se učiniti da je poboljšanje performansi iscrtavanja nedovoljno, ali kada se vrši intenzivno ažuriranje prikaza, kao što je slučaj u implementiranom sistemu, ono može biti od velikog značaja. Analizirajući vreme iscrtavanja, vidi se da uvođenje stabala štedi od 10ms (uvećanje 2 puta) do 40ms (uvećanje 4 puta) procesorskog vremena.

Ukoliko se razmatraju vrednosti za svaku strukturu ponaosob vidi se da je za isti nivo detaljnosti prikaza pri obavljanju operacije *zoom-out*, potrebno manje procesorskog vremena nego za *zoom-in*. Razlika u brzini nije velika, obično nekoliko milisekundi. Poređenje obe varijante R stabla nije dovelo do odluke koju od njih treba odabrati pošto su njihove performanse približno jednake za različite vrednosti, parame-

Tabela 1. Pregled performansi iscertavanja vektorskih podataka u sistemu za praćenje pokretnih objekata

zo om	Bez indeksa	M=13			M=28			M=56			M=113		
		R linear	R kvad.	R* stab.	R linear	R kvad.	R* stab.	R linear	R kvad.	R* stab.	R linear	R kvad.	R* stab.
-	348.388	376.513	367.195	373.887	369.533	362.544	367.135	357.932	362.433	363.846	366.017	366.937	365.944
1x	291.658	296.789	290.048	288.513	293.647	290.457	288.349	291.006	288.708	292.820	294.060	302.070	289.627
2x	215.618	204.553	205.660	201.627	203.889	203.219	206.135	213.040	203.032	202.806	207.800	209.217	205.974
3x	159.725	137.333	133.450	131.650	131.937	131.910	133.383	134.885	132.007	130.958	132.424	132.283	131.679
4x	118.913	87.314	87.102	87.102	87.434	87.571	89.438	90.346	86.363	86.103	87.374	87.308	86.135
3x	161.272	143.303	132.761	129.843	134.459	131.060	135.405	137.342	133.434	132.819	131.814	132.663	130.938
2x	221.263	205.231	210.338	204.094	209.874	202.856	203.865	205.625	206.765	202.740	203.958	203.527	201.609
1x	290.487	296.399	293.437	293.669	291.131	288.095	287.217	289.187	295.490	295.333	289.164	293.337	297.395
-	349.067	358.628	359.051	357.054	364.149	356.714	354.766	357.118	360.584	358.832	358.220	357.203	367.080

tra M. Ovaj zaključak nije u skladu sa objavljenim istraživanjima koja favorizuju kvadratnu varijantu R stabla, što je posledica izgleda konkretnog prostora podataka pomenutog sistema. Među podacima postoji znatno poklapanje i velika razlika u veličini njihovih aproksimacija. Posledica prethodno navedenog je da kvadratna varijanta R stabla ima bolje performanse od R* stabla kada je maksimalni broj elemenata čvora 28. Ova stabla imaju dobro popunjen nivo korena i u prethodnim istraživanjima [8,9] se pokazalo da u takvim slučajevima R* stablo ima znatno bolje performanse od R stabla. Ipak, za ostale vrednosti parametra M, brzina iscertavanja kod R* stabla je nešto veća u odnosu na konkurente, što je potvrda kvaliteta ove strukture. Mala razlika koja se javlja u performansama ukazuje da izgled prostora podataka ima veliki uticaj na izbor indeksne strukture. Analizirajući rezultate za implementaciju u sistemu za praćenje mobilnih objekata odabrana je varijanta R* stabla kod koje je maksimalni broj elemenata u čvoru 56.

5. ZAKLJUČAK

Analiza predloženih indeksnih struktura nije potvrdila činjenicu da linearna varijanta R stabla ima lošije performanse od kvadratne. Obe varijante R stabla imaju približno iste karakteristike. R* stablo je pokazalo nešto bolje karakteristike u odnosu na R stablo. Ipak, sprovedeno istraživanje je pokazalo da R* stablo nema efikasnost koja se očekivala na osnovu rezultata prethodnih istraživanja. Ovo ukazuje na činjenicu da je neophodno izvršiti analizu za konkretan domen problema, pa na osnovu validnih zaključaka odabrati odgovarajuću indeksnu strukturu.

Sprovedeno istraživanje je pokazalo da je dodavanje indeksne strukture u sistem dovelo do znatnog poboljšanja performansi prikaza. Utvrđeno je da je brzina prikaza veća bez korišćenja indeksne strukture ukoliko je u prozoru prikaza više od 50% ukupnog prostora. Stoga sistem koristi indeksnu strukturu samo kada se u prikazu nalazi manje od 50% celokupnog prostora. U aplikaciji je implementirano R* stablo sa maksimalnim brojem od 56 elemenata u čvoru, odabrano na osnovu analize rezultata istraživanja.

U istraživanju su razmatrana R stabla kao popularna i efikasna indeksna struktura. Ova struktura dozvoljava preklapanje među podprostorima. Jedan pravac daljeg istraživanja bio bi primena indeksne strukture koja ne dozvoljava preklapanje pri podeli prostora (npr. *Quad* stablo). Drugi pravac bio bi podela podataka čije su aproksimacije velike na delove i provera da li takvo indeksiranje može dovesti do ubrzanja iscertavanja.

ZAHVALNICA

Istraživanja prezentovana u ovom radu delimično su finansirana od strane Ministarstva za nauku, tehnologije i razvoj Republike Srbije i Skupštine Opštine Niš u okviru projekta "Geografski informacioni sistem za podršku

funkcionisanju lokalne samouprave zasnovan na Internet/WWW tehnologijama", pod brojem IT.1.23.0249A.

LITERATURA

- [1] Worboys M., *GIS: A Computing Perspective*, Taylor & Francis, 1998.
- [2] Bertino E., Ooi B. C., *The Indispensability of Dispensable Indexes*, IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, vol. 11, no.1, pp. 17-27, Jan./Feb. 1999.
- [3] Guttman A., *R-Trees: A dynamic Index Structure for Spatial Searching*, Proc. ACM SIGMOD Intl. Conference on Management of Data, pp. 47-57, 1984.
- [4] Bayer R., McCreight E., *Organization and Maintenance of Large Order Indices*, Proc. 1970 ACM-SIGFIDET Workshop on Data Description and Access, pp. 107-141, Houston, Texas, Nov. 1970.
- [5] Beckmann N., Kriegel H. P., Schneider R., Seeger B., *The R*-tree: An Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles*, Proc. ACM SIGMOD, pp. 322-331, June 1990.
- [6] D. Rančić., S. Đorđević-Kajan, *Mapedit: Solution to Continuous Raster Map Creation*, *Computer and Geosciences*, Vol. 29, No. 2, Elsevier Science, 2003, pp.115-122.
- [7] Open Geospatial Consortium – OGC, <http://www.opengeospatial.org/>
- [8] V. Mihajlović, S. Đorđević-Kajan, "Analiza primene R, R+ i R* stabala za indeksiranje prostornih podataka", *ETRA N '02*, Banja Vrućica, Republika Srpska, jun 2002.
- [9] V. Mihajlović, S. Đorđević-Kajan, "Capabilities of R, R+ and R*-Tree Indexing Spatial Data in Network Space", *ICEST -03*, pp. 337-340, Sofia, Bulgaria, October 2003.

Abstract – Indexes are involved in GIS to improve the efficiency of using spatial data. The GIS for mobile object tracking has an additional request, to display data received from devices that determine object location in real time. The crucial demand was updating the view in small amount of time. To accomplish this needs, R tree and R* tree are examined and validated. The results analysis is presented in this work and the best variant of R* tree is implemented in application to shorten the time requested for drawing spatial data.

VECTOR LAYER INDEXING IN MOBILE OBJECT TRACKING SYSTEM

Vladan Mihajlović, Slobodanka Đorđević-Kajan, Aleksandar Dimitrijević