

## PROŠIRENJE KAPACITETA ZA SKLADIŠTENJE PODATAKA: METAHEURISTIČKI PRISTUP

Slobodan Mitrović, Dragana Drenovac, Ranko Nedeljković  
Saobraćajni fakultet u Beogradu

**Sadržaj:** *U ovom radu analiziran je problem proširenja skladišnog prostora za podatke na serverima i predstavljena je strategija za određivanje najpovoljnijeg vremena za realizaciju proširenja, zasnovana na metaheurističkom pristupu. Predstavljeni problem definisan je na osnovu ulaznih podataka, prikupljenih u Računarskom centru Saobraćajnog fakulteta. Zadatak je rešen upotrebom genetskog algoritma, analizirani su dobijeni rezultati, na osnovu čega su izvedeni odgovarajući zaključci.*

**Ključne reči:** *hard disk, kapacitet hard diska, genetski algoritmi*

### 1. Uvod

Savremeni koncepti razvoja *online* servisa, kao i porast standarda, koji podrazumeva upotrebu širokopojasnog pristupa Internetu, pružaju mogućnost pristupa ličnim sadržajima sa bilo kog uređaja i u bilo kom trenutku. Popularnost novih generacija *webmail* servisa, socijalnih mreža, kao i razvoj mobilnih platformi, poput *smartphone* i *pad* uređaja, imala je bitan uticaj na karakter *web* servisa, kao i na navike samih korisnika, koje se odnose na čuvanje ličnih podataka i multimedijalnih sadržaja u skladišnom prostoru serverskih struktura, koje su nosioci navedenih servisa.

Pojava koncepta *online* snimanja ličnih i profesionalnih sadržaja, bilo da su u pitanju konvencionalne ili *cloud* strukture, uticala je na potrebu za razvojem različitih strategija koje se odnose na upravljanje resursima za skladištenje podataka. Na ovaj način su predstavljena rešenja za razne probleme, poput onih koji se odnose na čuvanje rezervnih kopija ili problema koji se bave modelima optimalne organizacije medijuma, posmatrano sa aspekta pouzdanosti i brzine skladištenja.

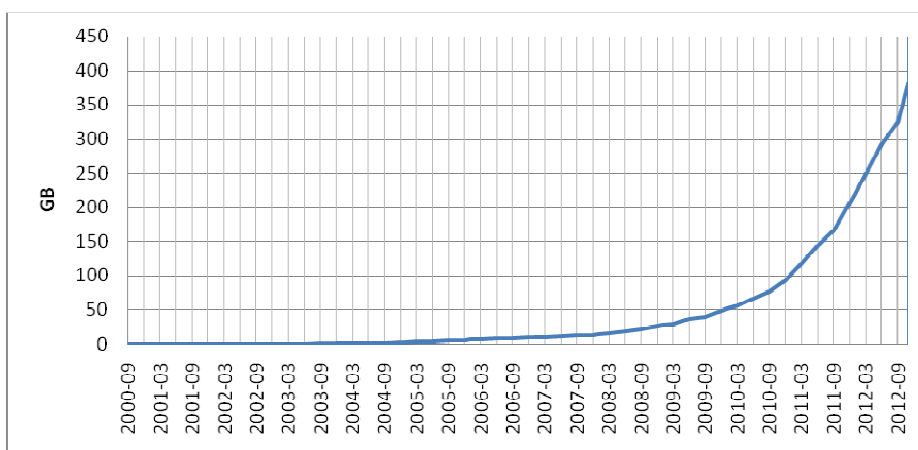
Jedan od problema koji se javlja u realizaciji servisa prema navedenom konceptu, odnosi se na pitanje proširenja kapaciteta skladišnog prostora u okviru serverskih resursa. Navedeni problem ima kompleksan karakter jer se mora sagledati sa više različitih aspekata, kao što su dinamika priraštaja količine snimljenih podataka, troškovi proširenja kapaciteta, pouzdanost medijuma i sl.

U prvom delu rada, razmatran je problem proširenja skladišnog prostora za čuvanje podataka, kao i aspekti, koji utiču na definisanje navedene strategije. U drugom delu rada, predstavljen je koncept strategije za proširenje kapaciteta. Treći deo rada pruža osvrt na genetske algoritme, nakon čega je, u četvrtom delu opisan način rešavanja problema proširenja kapaciteta ovom vrstom metaheuristike. U petom delu predstavljen je i numerički primer zadatka, čije rešenje je analizirano i na osnovu čega su izvučeni odgovarajući zaključci.

## 2. Problem proširenja kapaciteta skladišnog prostora

Novе generacije *online* servisa karakteriše visok stepen interakcije korisnika sa samim servisom, što utiče na značajan nivo distribucije sadržaja, najčešće multimedijalnog karaktera, poput video klipova ili fotografija. Iako sama interakcija ima dvosmeran karakter, uočljiva je potreba za plasmanom ovih sadržaja ka serverskoj strani servisa, odakle se, nadalje vrši distribucija ka drugim lokacijama, samo uz upotrebu odgovarajućih *web* linkova. Navedeni koncept distribucije sadržaja, direktno ukazuje na dve činjenice:

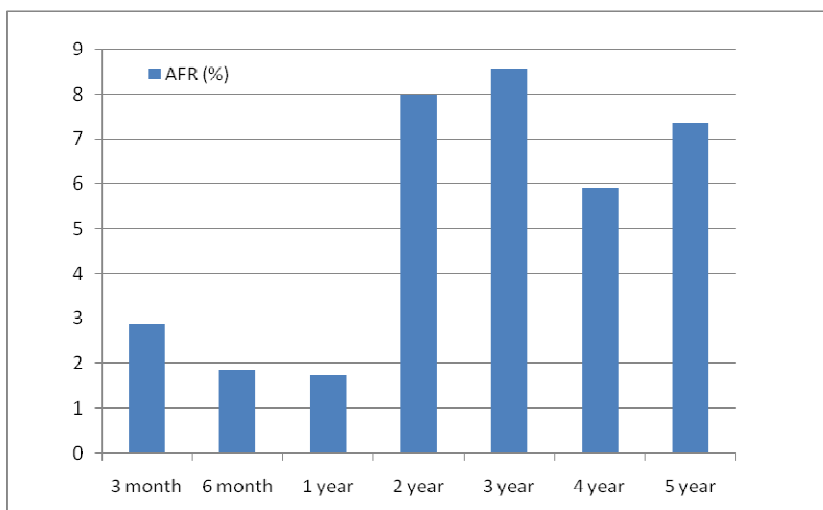
- 1) dinamika priraštaja snimljenih podataka direktno utiče na količinu raspoloživog skladišnog prostora za operativne namene, kao i na količinu skladišnog prostora za čuvanje rezervnih kopija (*backup*) i to sa stepenom multiplikacije, ukoliko se *backup* čuva istovremeno na više lokacija. Kao prilog navedenoj tezi u istraživanju je razmotren priraštaj uskladištenih podataka na *email* serveru Saobraćajnog fakulteta u Beogradu, na osnovu statistika prikupljenih u periodu od 2000. do 2012. godine, što je prikazano na Slici 1. Navedene činjenice ukazuju na potrebu za blagovremenim planiranjem proširenja kapaciteta za skladištenje podataka. Na ovaj način se pruža mogućnost proširenja sa najnižim stepenom investicionih troškova, ako se uzme u obzir pad cena komponenti u toku dužeg vremenskog perioda. Blagovremeno određivanje trenutka u kome će biti realizovano proširenje, predstavlja suštinu primene navedene strategije.



Slika 1. Nivoi uskladištenih podataka u periodu od 2000. do 2012. godine

- 2) dinamika priraštaja snimljenih podataka direktno utiče i na nivo radne opterećenosti medijuma (tj. hard diskova), odnosno na povećanje verovatnoće otkaza ove vrste komponenti.

Navedene činjenice ukazuju na to da se u strategijama koje se bave proširenjem skladišnog prostora za podatke, mora uzeti u obzir i pouzdanost medijuma. U ovom istraživanju su uzeti u obzir rezultati studije koju je sprovedla kompanija Google 2007. godine [6]. Za razliku od vrednosti MTBF, navedene od strane proizvođača (za svaki model hard diska, zasebno), u ovoj studiji je upotrebljena vrednost godišnjeg nivoa otkaza (*annualized failure rate* – AFR), koja je primenjena u procesu prikupljanja statistika otkaza hard diskova (nad populacijom od 100.000 komada). Statistika nivoa otkaza u odnosu na starost hard diska (tj. vreme eksploatacije), jedan je od najvažnijih aspekata, koji se odnose na pouzdanost i koji je uzet u obzir u okviru strategije, koja je predmet ovog rada. Vrednost AFR u odnosu na vreme eksploatacije, prikazan je na slici 2.



Slika 2. Vrednosti AFR u odnosu na vreme eksploatacije [6]

Shodno navedenom, u strategiji je usvojeno da planiranje proširenja podrazumeva redovnu zamenu hard diskova u maksimalnom periodu od 3 godine. Studija je, takođe, potvrdila iskustvo iz prakse, koje se odnosi na visoku verovatnoću otkaza hard diska u periodu od 60 dana, od momenta detekcije grešaka (*scan error*) u toku skeniranja diska. Verovatnoća otkaza je, u ovom slučaju, čak 39 puta veća, u poređenju sa „zdravim“ hard diskom. Ovaj slučaj je u strategiji usvojen kao slučaj vanrednog kvara uređaja.

Operatori, odnosno institucije, u čiju nadležnost spada održavanje serverskih resursa, u procesu planiranja proširenja kapaciteta, moraju uzeti u obzir nivo troškova, kao ključni parametar. Veličina ovog parametra u velikoj meri zavisi od načina na koji će se proširenje izvršiti, što ukazuje na potrebu da usvojenu strategiju treba pravilno primeniti.

Ukoliko se, nasuprot tome, na primer, donese odluka da se proširenje kapaciteta izvrši kasnije u odnosu na trenutak za koji je procenjeno da je „najpovoljniji“, operator ulazi u rizik otkaza uređaja za skladištenje, što može imati za posledicu - uvećane troškove koji se odnose na „povraćaj podataka“ sa oštećenih hard diskova, ili sličnih uređaja. Takođe, moguć je i slučaj potpunog popunjavanja skladišnog prostora, što može imati, za posledicu, zastoj sistema i potencijalni gubitak prihoda.

### 3. Genetski algoritmi

Genetski algoritmi su osmišljeni tako da oponašaju procese u prirodi vezane za evoluciju, genetiku i prirodnu selekciju. Da li će neka jedinka preživeti i ostaviti potomstvo u velikoj meri zavisi od toga koliko dobro može da iskoristi svoje osobine u datom okruženju. Osobine svake jedinke određene su hromozomima [9].

Naziv algoritama potiče iz analogije između predstavljanja kompleksne strukture problema pomoću vektora komponenata i genetske strukture hromozoma. U selektivnom uzgajanju biljaka ili životinja, traga se za potomstvom sa željenim osobinama. Na sličan način, u traganju za boljim rešenjem složenog problema, intuitivno se kombinuju delovi postojećih rešenja [1],[3].

Rana primena genetskog metoda pretrage pripisuje se Bremermann-u [2] i Rechenberg-u [7], mada Holland-ov [4] rad čini osnovu najsavremenijih radova [5]. Prirodna selekcija omogućuje da se uspešni hromozomi reprodukuju mnogo više nego oni koji to nisu.

Pod uspešnošću se mogu podrazumevati različite osobine zavisno od konteksta i okruženja. Prilikom procesa reprodukcije postoje dva dodatna mehanizma koja sam proces prirodne selekcije čini vrlo složenim i nepredvidivim. Jedan je mutacija na osnovu koje potomak može biti mnogo drugačiji od svojih bioloških roditelja, a drugi je proces rekombinacije po kome se različitost potomka u odnosu na roditelje obezbeđuje kombinovanjem genetskog sadržaja oba roditelja [9].

Tradicionalne tehnike pretraživanja i iznalaženja optimalnog rešenja u svakom trenutku vremena ispituju samo jedno potencijalno rešenje. Za razliku od njih, genetski algoritmi vrše pretraživanje tako što istovremeno ispituju čitavu populaciju generisanih rešenja. U prvom koraku se generiše veći broj različitih rešenja. U sledećem koraku se vrši izračunavanje vrednosti kriterijumske funkcije generisanih rešenja. Na osnovu izračunatih vrednosti kriterijumske funkcije vrši se evaluacija rešenja. Pojedina od „dobrih“ rešenja kojima odgovaraju bolje vrednosti kriterijumske funkcije uzimaju se u dalje razmatranje, a ostala se eliminišu. Na izabrana rešenja primenjuju se genetski operatori reprodukcije, razmene genetskog materijala i mutacije. Potom se generiše nova generacija rešenja i vrši njena evaluacija. Postupak se ponavlja dok se ne generiše unapred zadati broj generacija ili kada se zadovolji unapred zadati kriterijum u pogledu kriterijumske funkcije [8].

Prilikom primene genetskih algoritama vrši se kodiranje skupa promenljivih iz posmatranog problema u hromozom. Najčešći vid kodiranja je binarno kodiranje u kome je hromozom predstavljen 0-1 strukturom. Takođe, neki problemi se prirodni predstavljaju permutacijom, npr. problem trgovačkog putnika ili problem raspoređivanja zadataka.

Svaki hromozom daje određenu vrednost fitness funkcije čime su određene šanse da se dati hromozom odabere za stvaranje potomstva. Jedna vrsta reprodukcije, odnosno

selekcije je proporcionalna selekcija u kojoj je verovatnoća da neki string bude izabran za stvaranje potomstva jednaka odnosu vrednosti fitness funkcije tog stringa i zbira vrednosti fitness funkcija svih stringova u populaciji.

Po izboru parova hromozoma (roditelja), potrebno je izabrati i mesto za razmenu genetskog materijala. Tako, svaki par roditelja stvara dva potomka.

Po završenoj razmeni genetskog materijala primenjuje se operator mutacije. U slučaju binarnog kodiranja pod mutacijom gena podrazumeva se promena vrednosti 1 u vrednost 0 i obrnuto. Verovatnoća mutacije je veoma mala (reda veličine 0.001). Osnovni cilj mutacije je da spreči nepovratno gubljenje genetskog materijala na određenim lokacijama u stringu.

Bez obzira na moguće različitosti koje se javljaju u različitim genetskim algoritmima, sledeći koraci su zajednički za sve genetske algoritme:

**Korak 1:** Kodirati problem i odrediti vrednost parametara.

**Korak 2:** Formirati inicijalnu populaciju koja se sastoji od n stringova. Izvršiti evaluaciju vrednosti kriterijumske funkcije svakog stringa.

**Korak 3:** Uz pretpostavku da je verovatnoća izbora proporcionalna vrednosti kriterijumske funkcije, izabrati n potencijalnih roditelja.

**Korak 4:** Na slučajan način izabrati par za stvaranje potomstva. Stvoriti dva potomka razmenom genetskog materijala zasnovanom na razmeni genetskog materijala na jednoj lokaciji. Primeniti mutaciju na svaki od stvorenih potomaka. Primenjivati operatore razmene genetskog materijala i mutacije sve dok se ne stvori n potomaka koji čine novu populaciju.

**Korak 5:** Zameniti staru populaciju stringova novom populacijom. Izvršiti evaluaciju vrednosti kriterijumske funkcije svih članova nove populacije.

**Korak 6:** Ukoliko je broj stvorenih populacija manji od unapred zadatog broja generacija, vratiti se na korak 3. U suprotnom slučaju, završiti algoritam. Za finalno rešenje izabrati najbolje rešenje generisano u svim populacijama. [8]

#### 4. Rešavanje opisanog problema

Za rešavanje opisanog problema razvijen je genetski algoritam. Hromozomi predstavljaju moguća rešenja problema. Unapred je poznat broj godina (T) za koji se posmatra donošenje odluke o proširenju kapaciteta, kao i vremenski razmaci u mesecima (v) po čijem je isteku moguće realizovati odluke koje su donešene početkom godine kojoj pripada dati vremenski period. U algoritmu se koristi binarno kodiranje. Dužina hromozoma jednaka je  $(12/v)*T$ .

Poznati su podaci o promeni zauzetosti hard diska u vidu kumulante, a takođe i verovatnoće otkaza (p) hard diska u vremenskim razmacima v.

Proširenje kapaciteta hard diska može da se vrši kada hard disk nije potpuno pun, pa se na osnovu kumulante i kapaciteta diska odredi procenat popunjenosti l, ili kada postojeći otkazuje iz nekog tehničkog razloga (usvojeno je da se popunjenost u tom slučaju predstavlja vrednošću 1.5).

Fitnes funkcija F predstavlja očekivanu vrednost popunjenosti hard diska i može se zapisati izrazom

$$F=l*(1-p)+1.5*p$$

Osnovni mehanizam genetskih algoritama počiva na tri osnovna operatora: reprodukcija, razmena genetskog materijala i mutacija.

Empirijski rezultati mnogih autora ukazuju na to da je u mnogim slučajevima veličina populacije obima 30 individua sasvim odgovarajuća. Takođe, neki autori su empirijski došli do zaključka da je populacija obima između  $n$  i  $2n$  optimalna za neke probleme, gde je  $n$  dužina hromozoma. U ovom primeru broj individua je 30.

Početnu populaciju moguće je generisati slučajno ili je dobiti nekom drugom heurističkom tehnikom. U ovom radu početna populacija je generisana slučajnim izborom nula i jedinica ali ne po ravnomernoj raspodeli već je postavljeno da se nula javlja četiri puta češće. Takav hromozom više odgovara realnoj situaciji. Uz generisanje svakog hromozoma, slučajno se generiše redni broj godine (u kojoj će se izvršiti proširenje kapaciteta) za svaki gen sa vrednošću 1.

Kao u originalnom Holand-ovom genetskom algoritmu u svakom koraku izbor prvog roditelja vršen je po verovatnoći proporcionalnoj vrednosti fitnes funkcije, dok je drugi biran po diskretnoj ravnomernoj raspodeli.

Operator ukrštanja definisan na sledeći način. Na slučajan način odaberu se dve tačke u kojima se kidaju dva roditelja hromozoma i razmenjuju delove između tih tačaka.

Mutacija je vršena sa verovatnoćom 0.01 i tom prilikom je na slučajan način birana jedna pozicija u hromozomu na kojoj je izvršena promena vrednosti gena.

## 5. Numerički primer

Mogućnosti predloženog genetskog algoritma prikazane su kroz sledeći primer. Posmatra se jedan hard disk kapaciteta 1 TB na period od 3 godine, sa vremenskim intervalima od po tri meseca. Odluke se donose na početku svake godine u kom tromesečju treba proširiti kapacitet. Moguće je jedne godine doneti odluku za neku od narednih godina.

Tabela 1. Numeričke vrednosti u primeru

Tromesečja od 2010 do 2012	Kumulanta popunjenosti hard diska (GB)	Verovatnoća otkaza hard diska (%)
1	51.56272522	8.142857143
2	56.49629884	8.285714286
3	67.52081507	8.428571429
4	76.80166179	8.571428571
5	102.6410609	7.907142857
6	116.747804	7.242857143
7	144.6595415	6.578571429
8	166.695565	5.914285714
9	220.6861973	6.278571429
10	247.634016	6.642857143
11	293.5612574	7.007142857
12	324.9561414	7.371428571
13	382.1575912	8.142857143

Dužina hromozoma u konkretnom slučaju je 12 gena. Trinaesto tromesečje (čiji početak se poklapa sa krajem 2012. godine) nije uzeto u razmatranje za donošenje odluke jer se proširenje kapaciteta svakako vrši nakon tri godine. Rešenje koje se dobija primenom opisanog genetskog algoritma prikazano je na Slici 3.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
									3		
Godina 2010				Godina 2011				Godina 2012			

Slika 3. Predstavljanje hromozoma u genetskom algoritmu

Hromozom, predstavljen na slici 1, kazuje da se odluka o proširenju kapaciteta donosi na početku treće godine posmatranja (2012), a izvršava u drugom tromesečju te godine. Proširenje se vrši za 50 % ako je popunjenost hard diska manja od 0.75, dok se za veće vrednosti popunjenosti diska njegov kapacitet udvostručuje. U ovom slučaju se povećanje vrši za 50 %.

## 6. Zaključak

U ovom radu analiziran je problem proširenja skladišnog prostora za podatke na serverima. Ukazana je potreba za primenom adekvatne strategije, kojom bi se odredilo najpovoljnije vreme za realizaciju proširenja. Način rešavanja navedene strategije je baziran na upotrebi genetskih algoritama, kao vid metaheurističkog pristupa u ovoj vrsti problematike. Cilj zadatka, koji je trebalo rešiti u ovom radu, bio je da se odredi najpovoljnije vreme za proširenje skladišnih kapaciteta sa težnjom da se izbegne potpuno popunjavanje skladišnog prostora, kao i period u kome verovatnoća otkaza ima veću vrednost u skladu sa usvojenim podacima, a koji se odnose na vrednosti AFR, tokom vremena eksploatacije. Rezultati primene genetskog algoritma u procesu rešavanja navedenog problema su pokazali zadovoljavajuće rezultate, jer determinisano vreme za realizaciju proširenja može uticati na smanjenje investicionih troškova, dok sa druge strane, ne zadire drastično u „zonu povećane verovatnoće otkaza“.

Proces planiranja proširenja kapaciteta za skladištenje podataka je usko povezan sa drugim problemima, poput problema organizacije skladišnog prostora za čuvanje rezervnih kopija ili problema funkcionalne strukture jedinica za skladištenje. Dinamika skladištenja podataka na operativnom prostoru je često istovetna sa dinamikom skladištenja rezervnih kopija. Pored toga, planiranje proširenja kapaciteta treba da bude realizovano na način da funkcionalne strukture jedinica za skladištenje (koje su često koncipirane kao tip RAID5 ili RAID10) budu organizovane na takav način da rizik oštećenja struktura prilikom proširenja ili potencijalnog otkaza, bude minimalan.

**Zahvalnica:** Ovaj rad je delimično finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekata, br. 36012, 36027 i 36010.

## LITERATURA

- [1] Beasley, J., Dowsland, K., Glover, F., Laguna, M., Peterson, C., Reeves, C. and B. Soderberg, *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*, (ed. by Reeves), Halsted Press, 1993
- [2] Bremermann, H. *Optimization through evolution and recombination*, in: M. C. Yovits, G. T Jacobi, G. D. Goldman (Eds.), *Self-organizing Systems*, Spartan Books, Washington, DC, pp 93-106, 1962
- [3] Goldberg, E. and A. Samtani, „*Engineering optimization by a genetic algorithm*“, in: *Proceedings of the Ninth Conference on Electronic Computation*, ASCE, pp 471-482, 1987
- [4] Holland, J. *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, 1995
- [5] Liu, B., Haftka, R., Akgun, M. and A. Todoroki, „*Permutation genetic algorithm for stacking sequence design of composite laminates*“, *Computational Methods in Applied Mechanics and Engineering* 186, pp 357-372, 2000
- [6] Pinheiro, E., Weber, W. D., Barroso L.A., *Failure trends in a large disk drive population*, *Proceedings of the USENIX Conference on File and Storage Technologies*, 2007
- [7] Rechenberg, I. *Cybernetic Solution Path of an Experimental Problem*, Royal Aircraft Establishment, Library Translation 1122, Farnborough, England, UK, 1965
- [8] Teodorović, D. *Transportne mreže*, IV prerađeno izdanje, Univerzitet u Beogradu, Saobraćajni fakultet, Beograd, 2007
- [9] [http://automatika.etf.bg.ac.rs/files/genetski\\_algoritmi.pdf](http://automatika.etf.bg.ac.rs/files/genetski_algoritmi.pdf)

**Abstract:** *In this paper capacity expansion problem is observed. Genetic algorithm is developed and applied on the problem. Real data, collected in Computer center of The Faculty of Traffic and Transport Engineering, are used. The results are analysed and based on the solution, the best strategy for expansion realisation is derived.*

**Keywords:** *hard disc, hard disc capacity, genetic algorithms*

### CAPACITY EXPANSION: METAHEURISTIC APPROACH

Slobodan Mitrović, Dragana Drenovac, Ranko Nedeljković