



PRIMENA GENETSKIH ALGORITAMA ZA UPRAVLJANJE RADOM AS/RS-A SA TRI SHUTTLE MODULA

APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM FOR SEQUENCING PROBLEM OF TRIPLE SHUTTLE AS/RS

DRAŽEN POPOVIĆ

Saobraćajni fakultet, Beograd, d.popovic@sf.bg.ac.rs

ČASLAV BOŽIĆ

University of Karlsruhe, caslav.bozic@aifb.uni-karlsruhe.de

Rezime: Sa sve većim zahtevima po pitanju ubrzanja operacija i povećanja produktivnosti koji se postavljaju pred skladišne sisteme, a samim tim i pred AS/RS (Automatic Storage/Retrieval System), nameće se potreba za poboljšanjem operativnog upravljanja odnosno poboljšanja uskladištenja i iskladištenja jedinica tereta. Ovaj rad je usmeren na optimizaciju ciklusa AS/RS-a koji poseduje tri shuttle modula (S/R jednovremeno može da nosi do tri tovarne jedinice), u regalima kod kojih su skladišne lokacije podeljene u dve zone. U radu je predložena primena genetskih algoritama za AS/RS koji radi po principu dualnog zadatka u šestostrukom ciklusu (Sextuple Command), odnosno po principu dualnosti uskladištenja i iskladištenja gde se zajedno rešavaju ove dve operacije na takav način da se minimizira ukupno kretanje S/R uređaja sa tri shuttle modula.

Ključne reči: AS/RS, Genetski algoritmi, Problem sekvenciranja, Šestostruki dualni ciklus.

Abstract: With growing demands on the acceleration of operations and increase productivity that is set before the storage systems, and therefore before the AS/RS (Automatic Storage/Retrieval System), a need to improve the operational management and improvement of storage and cargo retrieval is of utmost importance. The paper is focused on the optimization of the cycle of AS/RS, which has three shuttle modules (S/R can carry three units at the same time), in class based storage. The paper proposed the application of genetic algorithms for AS/RS based on the principle of sextuple command cycle, in other words by means of duality of storage and retrieval where we solve these two combined operations in such a way to minimize total movement of S/R device with three shuttle modules.

Keywords: AS/RS, Genetic Algorithms, Sequencing Problem, Sextuple Command.

1. UVOD

Funkcionisanje logistike u modernom okruženju podrazumeva povećanje brzine i produktivnosti, bolje iskorišćenje sredstava rada, smanjenje troškova kao i adekvatnu kontrolu poslovanja. U skladišnim sistemima sa velikim intenzitetom rada i uniformnim jedinicama skladištenja, AS/RS (Automatic Storage/Retrieval System) ima lidersku ulogu u ispunjenju pomenutih zadataka. AS/RS se može opisati kao kompjuterski kontrolisani automatski transportni sistem koji se koristi za transfer jedinica skladištenja između dve tačke u vertikalnoj ravni regala. Sastoji se iz: regala, uređaja za skladištenje/iskladištenje (S/R), i ulazno/izlaznih (I/O) tačaka. Sam S/R uređaj se sastoji od jednog ili više zahvatnih/nosećih uređaja (shuttle modula) i mehanizma koji pomera shuttle od I/O tačke do određene lokacije u regalima i obratno. U I/O tački se nalaze jedinice skladištenja koje shuttle odnosi na odgovarajuću lokaciju

u skladištu, odnosno u I/O tačku shuttle donosi jedinicu koja se iskladištava iz regala.

Nedostatak AS/RS jesu veliki investicioni troškovi. Da bi se tako visoki troškovi opravdali, ovaj sistem funkcioniše u skladištima velikog kapaciteta i uslovima postojanja velikih intenziteta protoka robe. Visoka cena manipulacije tereta utiče da svako poboljšanje rada sistema donosi znatnu uštedu finansijskih sredstava, pri čemu značajne rezerve leže u sekvenciranju zadataka i upravljanju ciklusom S/R uređaja.

U tom kontekstu, rad AS/RS-a bazira se na različitim strategijama upravljanja ciklusom S/R uređaja (single ili dualni zadatak), zavisnim od primenjenih strategija zoniranja (Random ili Dedicated), odnosno sekvenciranja i lokacije zadataka [1].

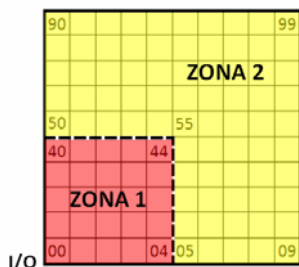
Otuda, ovaj rad ima za cilj da na generalizovanom problemu AS/RS-a, sa tri shuttle modula i S/R uređajem koji radi po principu dualnog zadatka u šestostrukom

ciklusu, predloži genetski algoritam za određivanje najboljeg sekvenciranja zadataka i definisanje rute S/R uređaja u slučaju zonske strategije skladištenja.

Rad je organizovan na sledeći način. U tački 2. opisan je problem koji se razmatra. Tačka 3. opisuje predloženu metodologiju za dobijanje rešenja primenom genetskih algoritama, dok su u tački 4. prikazani rezultati primene na numeričkom primeru, kao i neke od performansi predloženog algoritma. Na kraju, tačka 5. sadrži zaključna razmatranja i smernice za dalji rad.

2. OPIS PROBLEMA

Prostor regala je podeljen u dve zone [2], [3] u obliku slova „L“, kako je to prikazano i na slici 1. Način odabira tri jedinice koje je neophodno uskladištiti je određen po FCFS (First Come First Served) strategiji (opslužuju se prve tri jedinice koje se pojave u I/O tački). Jedinice koje se iskladištavaju nemaju ograničenje redosleda izuzimanja jer su sve dostupne a njihovo izuzimanje se vrši na način da se minimizuje vreme ciklusa. Potrebno je ipak definisati mehanizam da one jedinice koje generišu najveće vreme ciklusa ne ostanu zaboravljene u regalima. Iz tog razloga se u ovom radu primenjuje grupisanje zahteva za iskladištenje u skup R od 9 članova po principu FCFS. Kad se ovaj skup isprazni, prelazi se na sledećih 9 članova.



SLIKA 1. Struktura regala po zonama

S/R uređaj u I/O tački uzima tri jedinice za uskladištenje koje je potrebno smestiti u jednu od dve zone i te tri jedinice predstavljaju skup S. Tri jedinice skupa S je neophodno upariti sa tri jedinice koje zahtevaju iskladištenje iz regala, na način da se minimizuje vreme trajanja ciklusa. Odabir potencijalnih jedinica za iskladištenje se vrši iz skupa R. Skup O se sastoji od slobodnih lokacija i uvećava za lokaciju sa koje se uzima jedinica za iskladištenje (iz skupa R), a smanjuje kada se odlaže jedinica uskladištenja (iz skupa S).

3. PREDLOŽENI PRISTUP REŠAVANJU PROBLEMA

Funkcija cilja koja treba da se minimizuje ima sledeći uopšteni oblik:

$$\sum_{i=1}^7 t_{i-1,i} \quad (1)$$

gde $t_{i-1,i}$ predstavljaju pojedinačna vremena ciklusa kretanja S/R uređaja.

3.1 Princip dualnog zadatka u modifikovanom šestostrukom ciklusu (MSC)

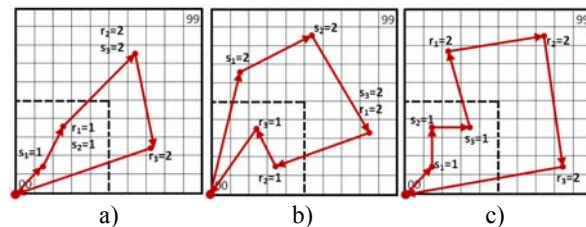
U radu se primenjuje MSC koji je baziran na modifikaciji pristupa definisanju ciklusa kretanja S/R uređaja korišćenom u [4] i [5]. U zavisnosti od kombinacije pripadajućih zona skladištenja, postoji ukupno 4×4 moguće kombinacije jedinica u ciklusu (4 kombinacije su prikazane u tabeli 1.) Sa 1 je označena jedinica za ZONU 1, a sa 2 jedinica za ZONU 2. Treba napomenuti da je bitan broj jedinica i dvojki a ne njihov raspored u skupovima S^* i R^* (tako da je u suštini 112 isto kao 121 ili 211).

Tabela 1: Četiri kombinacije jedinica za $S^*=(1,1,1)$

Komb.	S^*	R^*	Redosled operacija S/R-a	Ušteda
I	111	111	$s_1=1, r_1=1, s_2=1, r_2=1, s_3=1, r_3=1$	2
II	111	112	$s_1=1, r_1=1, s_2=1, r_2=1, s_3=1, r_3=2$	2
III	111	122	$s_1=1, r_1=1, s_2=1, s_3=1, r_2=2, r_3=2$	1
IV	111	222	$s_1=1, s_2=1, s_3=1, r_1=2, r_2=2, r_3=2$	0

Poslednja kolona u tabeli 1 predstavlja parove iskladištenja-uskladištenja gde se te operacije obavljaju na istoj lokaciji, odnosno između tih operacija ne postoji putovanje S/R-a. To je od velike važnosti za konstruisanje rute kretanja sa lokacijama i za proračun vremena trajanja ciklusa, odnosno za konstruisanje jedinki u modelu GA, što je objašnjeno u tački 4.3. Kao što se može primetiti iz tabele 1, ako u redosledu operacija posle iskladištenja postoji uskladištenje u istoj zoni to znači da se na izabranoj lokaciji prvo uzima jedinica koja zahteva iskladištenje pa se na istu lokaciju ostavlja jedinica koja zahteva uskladištenje (jedna ušteda putovanja).

Postavlja se pitanje kako rutirati S/R uređaj za svaku od ovih kombinacija a da to generiše najmanje vreme ciklusa. Ako obe trojke (S^* i R^*) imaju minimum dva ista člana onda postoje dve uštede putovanja (slika 2.a). Postoji ukupno 10 ovakvih kombinacija. Bitan je redosled opsluživanja po zonama, dok tačna lokacija u okviru zone zavisi od slobodnih lokacija i lokacija iskladištenja. Ako jedna od dve trojke ima sve članove iz iste zone, a druga samo jedan član iz te zone onda ciklus ima jednu uštedu (slika 2.b). Postoji ukupno 4 ovakve kombinacije. Ako obe trojke imaju sve različite članove onda ciklus sadrži svih 7 putovanja odnosno nema ni jednu uštedu (slika 2.c). Postoje ukupno 2 ovakva ciklusa.



SLIKA 2. Redosled opsluživanja zahteva tri karakteristična slučaja ciklusa sa aspekta broja putovanja

Za svaku od 16 kombinacija unapred je određen redosled operacija. Ti redosledi definišu strukturu rešenja koja se uzimaju u obzir i na osnovu njih se vrši proračun vremena za posmatrane kombinacije u modelu genetskog algoritma, a samim tim i ocena podobnosti jedinki (detaljnije objašnjenje se nalazi u tački 3.2).

3.2 Primena genetskih algoritama za upravljanje radom AS/RS-a sa tri shuttle modula

Genetski algoritmi predstavljaju metaheurističku metodu globalnog pretraživanja polja rešenja, koja uspešno izbegava zamku lokalnih optimuma. Velika prednost ove metode leži u pronalaženju kvalitetnog rešenja za relativno kratko vreme čak i u veoma kompleksnim problemima. Metodu je razvio Holland [6].

Jedan od ključnih koraka u razvijanju modela genetskih algoritama jeste pravilno formiranje stringa podataka jedinice koja predstavlja jedno rešenje. U ovom slučaju string u sebi sadrži 6 informacija (tri informacije o jedinicama uskladištenja i tri o jedinicama iskladištenja). Njihov redosled određuje redosled operacija uskladištenja i iskladištenja. Skup S^* ograničava broj kombinacija za jedan ciklus na četiri moguće sa aspekta zona u regalima. Svaka moguća kombinacija ima unapred definisan redosled operacija po zonama (u tabeli 1. su prikazani redosledi za 4 kombinacije). Na osnovu generisanih redosleda operacija formiraju se jedinice početne populacije tako što se svakoj operaciji dodeli odgovarajuće slovo (s-uskladištenje, r-iskladištenje) i lokacija u kojoj se odvija u okviru dozvoljene zone (tabela 2). U postupku kreiranja jedinki prvo se generiše jedna kombinacija za koju se konstruiše jedna jedinka, nakon toga se generiše sledeća kombinacija i tako sve do ispunjenja skupa početne populacije.

Tabela 2: Formiranje jedinice

S^*	R^*	Redosled operacija S/R-a
112	122	$s_1=1, r_1=1, s_2=1, r_2=2, s_3=2, r_3=2$
JEDINKA →		s11r34s34r45s45r60

Podobnost jedinice je određena dužinom trajanja modifikovanog dualnog šestostrukog ciklusa, odnosno sa:

$$f(E_k) = \frac{E_{\max} - E_k}{E_{\max} - E_{\min}} \quad (2)$$

E_k - podobnost posmatrane jedinice k ; E_{\max} - podobnost jedinice sa najkraćim vremenom trajanja ciklusa; E_{\min} - podobnost jedinice sa najdužim vremenom trajanja ciklusa

Selekcija jedinki koje će se koristiti za stvaranje potomaka («crossover») vrši se pravilom ruleta. Verovatnoća da se izabere jedinka jednaka je:

$$P(k) = \frac{f(E_k)}{\sum_{j=1}^k f(E_j)} \quad (3)$$

gde je k broj jedinki u populaciji

Prvi korak «crossover» postupka jeste odabir tačke, koja se slučajno bira na celobrojnom intervalu $CT \in [1,5]$ ($CT=1$ znači da se nalazi između prve i druge operacije). Prvi potomak uzima levu stranu prvog roditelja (primarni za tog potomka), a desnu stranu prvog roditelja poredi sa desnom stranom drugog roditelja. Gde god se operacije poklapaju po tipu (po s i r) i zoni regala (lokacije iz zone 1 i zone 2), vrši se zamena lokacija u desnoj strani prvog roditelja sa lokacijama u desnoj strani drugog roditelja. Logika je ista i za drugog potomka, sa tim što se preslikava desna strana drugog roditelja, a leve strane se poredi. Dobijene jedinice potomaka neophodno je proveriti sa aspekta korišćenja iste lokacije u slučaju kada se iskladištava r iz iste zone u kojoj se skladišti s . To praktično znači da se proveravaju susedni parovi operacija ($r x_{ij}^r, s x_{ij}^s$) i ako se radi o lokacijama iz iste zone tada mora da bude ispunjeno $x_{ij}^r = x_{ij}^s$. Lokacija skladištenja uvek se menja tako da bude identična lokaciji iskladištenja. U tabeli 3 dat je primer formiranja dva potomka za $CT=2$, kao i popravka koja je u tom slučaju bila neophodna.

Tabela 3: Formiranje potomaka za $CT=2$

Roditelji	Potomci	Popravka
s11r23 s23r14s14r34	s11r23 s14r04s04r34	s11r23 s23r04s04r34
s18r14 s14r04s04r56	s11r23 s14r04s04r56	s11r23 s23r04s04r56

Postupak mutacije je sledeći. Na slučajan način se odabere operacija u posmatranom potomku i zameni se sa nekom vrednošću iz dozvoljenog skupa. Ako mutacija izabere operaciju koja ima istu lokaciju kao susedna, tada se obe menjaju po lokaciji i to po dozvoljenom skupu za iskladištenje R (vezane operacije su redosleda iskladištenje sa lokacije i uskladištenje druge jedinice na istu lokaciju).

4. REZULTATI PRIMENE ALGORITMA

Problem koji se rešava ima sledeće karakteristike: kapacitet skladištenja je 100, broj slobodnih lokacija je 18, kapacitet prve zone je 25 jedinica, brzina kretanja S/R uređaja je generalizovana i iznosi jednu jedinicu vremena po dužini jedne skladišne lokacije (po vertikali i po horizontali). Rešavanje postavljenog problema primenom genetskih algoritama zahteva fino podešavanje niza parametara. Podešavaju se verovatnoće crossovera p_c i mutacije p_m , veličina populacije i broj generacija. Pri rešavanju posmatranog problema pokazalo se da sledeća kombinacija parametara daje najbolje rezultate:

- $p_c = 90\%$,
- $p_m = 3\%$,
- populacija od 500 jedinki i 1000 generacija,
- elitna populacija sadrži 4 jedinice.

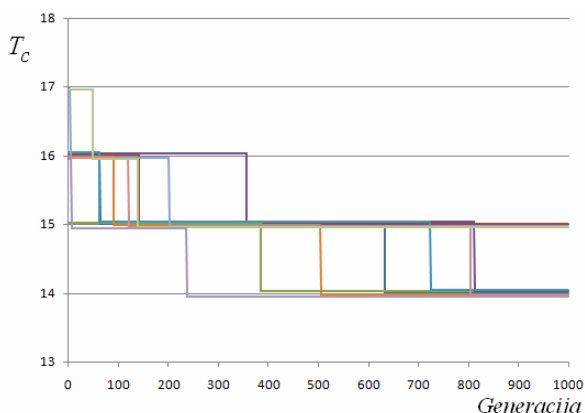
Ciklus koji se optimizuje ima tri karakteristična slučaja po pitanju veličine skupa R (9 jedinica - R_{9JED} , 6 jedinica - R_{6JED} , 3 jedinice - R_{3JED}). Radi ocenjivanja kvaliteta, dobijena rešenja iz modela genetskih algoritama poređena su sa optimalnim rešenjem po dva kriterijuma: prosečno vreme ciklusa kretanja S/R uređaja T_c i prosečno vreme

rada računara t_r (u sekundama). U tabeli 4 je prikazano poređenje dobijenih rešenja za 15 slučajno generisanih ciklusa za sva tri slučaja po pitanju veličine skupa R.

Tabela 4: Poređenje dobijenih rezultata

		F_{GA}^*	F_o^*	$\frac{F_{GA}^* - F_o^*}{F_o^*} \times 100$ [%]
R_{9JED}	\bar{T}_c	14.267	13.800	3.382
	\bar{t}_r	3.600	35974.554	-99.990
R_{6JED}	\bar{T}_c	14.533	14.267	1.869
	\bar{t}_r	3.745	21695.376	-99.983
R_{3JED}	\bar{T}_c	17.600	17.467	0.763
	\bar{t}_r	3.690	8946.538	-99.959

Kao što se može videti iz dobijenih rešenja u tabeli 4, primena predloženog modela genetskog algoritma (GA) daje rešenja koja su proseku lošija od optimalnog rešenja za 3.382 % (u najkompleksnijem slučaju sa skupom R_{9JED}). Međutim ušteda u vremenu potrebnom za dobijanje rešenja primenom GA je višestruka (prosečno vreme potrebno za dobijanje rešenja za R_{9JED} je 9991 puta manje). Na slici 2 je prikazana konvergencija modela GA koji daje konačno rešenje u većini slučajeva pre 800 generacija.



SLIKA 2. Prikaz konvergencije rešenja u modelu GA za 15 iteracija jednog ciklusa za R_{JED}

Algoritam za određivanje najboljeg mogućeg rešenja pretragom celokupnog prostora rešenja funkcioniše na taj način što se generišu sve varijacije klase 6 sa ponavljanjem iz skupa lokacija koji predstavlja uniju skupova lokacija za iskladištenje R i slobodnih lokacija O, kombinovano sa varijacijama klase 6 sa ponavljanjem iz skupa mogućih operacija (uskladištenje, iskladištenje). Prema ovome, klasa kompleksnosti ovog algoritma je $O(n^6)$, gde je n dato sa $n=2(|R|+|O|)$, pri čemu su sa $|R|$ i $|O|$ označene kardinalnosti odgovarajućih skupova.

Za izvršavanje algoritama je upotrebljen sistem sa distribuirano izvršavanje zadataka "Joschka" [7] razvijen na Univerzitetu Karlsruhe, sa tipičnom konfiguracijom radne stanice koja sadrži 2GB RAM memorije, Intel Core 2 Duo procesor, operativni sistem Windows Server 2008, i Java JDK 6. Svaki od pojedinačnih zadataka optimizacije izvršavao se na jednoj radnoj stanici.

5. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Brzina dobijanja kvalitetnog rešenja je od presudnog značaja za rad AS/RS-a u real-time uslovima donošenja odluka. Model GA koji je predložen u ovom radu daje rešenja koja su svega za par procenata lošija od optimalnog ali je zato vreme potrebno za donošenje odluke višestruko kraće. U realnim uslovima postoji daleko složeniji sistemi sa većim kapacitetom skladištenja jedinica u kojem je i nemoguće primeniti optimalnu metodu zbog vremena potrebnog za dobijanje rešenja.

Pristupom koji je opisan u radu vrši se optimizacija parcijalnog rešenja, odnosno optimizira se ciklus sa prve tri jedinice za uskladištenje, pa se zatim optimizira naredni ciklus sa sledeće tri jedinice, itd. Ako bi se zahtevi uskladištenja posmatrali u okviru skupa, od recimo 9 jedinica, tada bi se zadatak svodio na optimizaciju ukupnog vremena trajanja tri uzastopna šestostruka ciklusa. Ovakva promena u modelu može značajno da poboljša kvalitet upravljanja AS/RS-om, sa kojom se i dalje vrši parcijalna optimizacija ali većeg broj ciklusa. Takođe, putem eksperimenata može se utvrditi uticaj veličine posmatranog skupa zahteva za uskladištenjem i iskladištenjem na kvalitet upravljanja (pitanje veličine grupe: 6 ili 12 jedinica, što naravno utiče i na brzinu dobijanja rešenja).

Realizacija ovog istraživanja podržana je od strane Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja Vlade Republike Srbije, u okviru projekta TR15018 za period 2008-2010.

LITERATURA

- [1] Wang, J.Y., Yih, Y., *Using neural networks to select a control strategy for automated storage and retrieval systems (AS/RS)*, International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 1997
- [2] Hausman, W.H., Schwarz, L.B., Graves, S.C., *Optimal storage assignment in automatic warehousing systems*, Management Science, 1976
- [3] Graves, S.C., Hausman, W.H., Schwarz, L.B., *Storage-retrieval interleaving in automatic warehousing systems*, Management Science, 1977
- [4] Meller, R.D., Mungwattana, A., *Multi-shuttle automated storage/retrieval systems*, IIE Transactions, 1997
- [5] Sarker, B.R., Mann, L. JR, Dos Santos, J.R.G.L., *Evaluation of a class-based scheduling technique applied to dual-shuttle automated storage and retrieval systems*, Production Planning & Control: The Management of Operations, 1994
- [6] Holland, J.H., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975
- [7] Bonn, Matthias, *JoSchKa: Jobverteilung in heterogenen und unzuverlässigen Umgebungen*, Karlsruhe - Universitätsverlag, 2008.