

UPRAVLJANJE I VIŠE- OBJEKTNA OPTIMIZACIJA RASPOREDA POSLOVA AUTONOMNIH VOZILA NA KONTEJNERSKOM TERMINALU

Anita Gudelj, Maja Krčum, Mirko Čorić
Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet

Sažetak

Ovaj se rad bavi upravljanjem prometom i optimizacijom rasporeda poslova u sustavu prometa autonomnih vozila (eng. automatic guided vehicle, AGV) na kontejnerskom terminalu. Primjena autonomnih vozila uvelike smanjuju troškove i povećavaju učinkovitost modernih industrijskih postrojenja pa i velikih pomorskih luka. U ovom radu je primjenom Petrijevih mreža prikazan model AGV sustava kontejnerskog terminala i implementirana je strategija upravljanja prometom AGV vozila koji se koriste na kontejnerskom terminalu. Cilj je upravljanja riješiti konflikte, uz izbjegavanje zaglavljenja u sustavu. Nadalje, u radu je primjenom više-objektnog genetskog algoritma određen optimalan raspored poslova AGV-ova. Glavni cilj optimiranja je minimalizirati ukupno vrijeme izvođenja svih poslova, kao i vrijeme čekanja AGV-ova na dizalice, jer se na taj način povećava protočnost cijelog terminala. Sporedni cilj je minimalizirati broj AGV koji su uključeni i održavaju protok u sustavu. Razvijeni algoritam je testiran primjenom računalne simulacije koristeći program MATLAB. U radu su prikazani rezultati simulacije i eksperimenta na stvarnom kontejnerskom terminalu.

MODELLING AND MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION FOR AUTOMATED GUIDED VEHICLES AT CONTAINER TERMINALS

Abstract

The paper deals with the traffic control and job optimization in automatic guided vehicles (AGVs) transportation system used in container terminal. The use of automated guided vehicles (AGV) greatly reduces costs and increases the efficiency of modern industrial plants and the major seaports. In this paper, we propose the use of Petri Nets to model the layout of AGVS system embedded in a container terminal and we implement the control strategy to manage vehicle traffic. The aim of AGV control is to solve conflicts and avoid deadlocks in the system. In addition, the study is extended to seek optimal schedule in AGV system using multi-objective genetic algorithm which yields improvements in system throughput along with a decrease in the numbers of AGVs. The final goal is normally related to optimization of processing time by minimization vehicle waiting times for gantry cranes. The determination the appropriate number of AGVs involved while maintaining the system throughput must be solved before this goal can be achieved. The developed model is verified by a computer simulation using MATLAB environment. Results of simulation and experiments applied on real container terminal are presented.

1. UVOD

Kretanje AGV-ova može se opisati kao skup diskretnih događaja i stanja. Neka od tih stanja, kao što su konflikti i zastoji, koji mogu blokirati AGV-ove. Konflikti i zaglavljenja u sustavu mogu uzrokovati nepotrebne troškove, nedovoljnu uporabu skupih i važnih resursa ili dulje vrijeme izvođenja procesa. Stoga je nužno primijeniti odgovarajuću proceduru koja će izbjeći zastoje onemogućiti kretanje vozila u opasnim situacijama.

U ovom radu se predlaže primjena algoritam koji integrira MRF1 klasu Petrijevih mreža (PN) i genetski algoritam (GA) za određivanje optimalnog rasporeda poslova AGV-ove na kontejnerskom terminalu, a pri tome će se uspješno predvidjeti i riješiti konflikti te zaglavljenja u sustavu. Sam algoritam je opisan u radu [1], a razvijen je tako da radi s više-projektnim, više-kriterijskim problemom rasporeda poslova u sustavu s višeradnim resursima. Prvi zadatak je, primjenom MRF1PN, modelirati sustav, pri čemu mjesta predstavljaju poslove i resurse, te definirati matrični opis

MRF1PN modela. GA je odgovoran za vrednovanje kromosoma. Stoga je drugi zadatak, pomoću dobivenih matrica, definirati kromosome koji predstavljaju prioritete, kašnjenja poslova te vremena raspoloživosti projekata, odnosno resursa. Svaki kromosom mora proći kroz dvije faze: (a) dekodiranje prioriteta, kašnjenja i vremena kada su poslovi i resursi raspoloživi; (b) određivanje rasporeda projektnih zadataka.

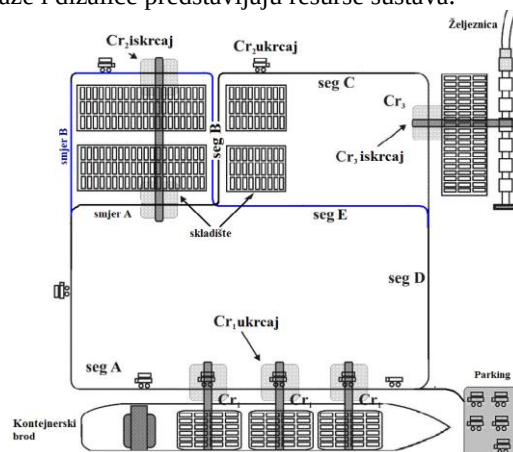
Implementiranjem razvijenog algoritma u Matlabu i više-objektnog genetskog algoritma u radu je određen optimalan raspored poslova AGV-ova za kontejnerski terminal. Cilj optimiranja je minimalizirati ukupno vrijeme izvođenja svih poslova, kao i vrijeme čekanja AGV-ova na dizalice.

2. MODEL RASPOREDA POSLOVA AGV VOZILA

2.1. Opis sustava

Promatrani kontejnerski terminal je po svojoj konfiguraciji veoma sličan terminalu luke Koper. Prijedlog automatizacije takvog terminala, na način da se uvedu AGV-ovi za transport kontejnera prikazan je na sl. 1. Kako bi se smanjilo vrijeme čekanja, predviđeno je da postoje dvije kružne staze kojima se kreću AGV-i. Prva, staza A, bi bila od obalnih dizalica, do dizalice na skladištu, željeznice i natrag do obalnog dijela. Druga staza B, bi bila od obalnih dizalica do skladišta i natrag do veza. Staze se sastoje od nekoliko segmenata. Segmentom A vozila prevoze kontejnere od obalnih dizalica do određenog mjesta u skladištu gdje se kontejneri odlažu. Nakon toga, segmentom B, AGV se premjesti na poziciju gdje će ukrcati kontejner sa skladišta i segmentom C ga transportira do željeznice. Nakon iskrcavanja kontejnera na željeznici prazno vozilo segmentom D ide do mjesta gdje čeka sljedeći posao koji treba obaviti. Ako AGV vozilo nije ukrcalo kontejner koji treba prebaciti do željeznice, onda nakon iskrcavanja kontejnera na skladištu, prazno vozilo ide segmentom E do parkinga. Sustav sadrži 3 obalne dizalice (Cr1) koje obavljaju iskrcaj kontejnera s broda i postavljaju ga na AGV, 1 skladišne dizalice (Cr2) koja iskrcava kontejner s AGVa i stavlja ga na određenu poziciju na skladištu i 1 mobilne dizalice uz željeznicu koja iskrcava kontejner sa AGVa i ukrcava ga na vlak. Zbog složenosti sustava u ovom poglavlju razmatrat će se samo proces istovara kontejnera s broda. Kada obalna dizalica podigne kontejner s broda mora ga prebaciti na AGV koji je dodijeljen dizalici za taj transport. Kako ne bi bilo kašnjenja, dodijeljeno AGV vozilo bi trebalo čekati na dizalicu na vezu. Čim se AGV dodijeli dizalici, odmah mu se odredi

ruta, smjer A ili smjer B. Ako je vozilo slobodno onda ono čeka na mjestu označenom kao parking. Ako nema slobodnih vozila, onda se dizalici dodjeljuje novo vozilo koje je u spremištu. Staze po kojima se kreću vozila gledat će se kao jedan projekt koji se treba obaviti. Projekti su različitog prioriteta i svaki se sastoji od određenog broja poslova, koji se trebaju obaviti određenim redoslijedom. Svaki posao se obavlja na određenoj vrsti resursa i traje određeno vrijeme. Segmenti staze i dizalice predstavljaju resurse sustava.



Sl. 1. Sustav transporta kontejnera

2.2. PN model transporta kontejnera

Petrijeva mreža je usmjereni bipartitni multigraf određen s četiri vrste objekata: mjesta, prijelazi, usmjereni lukovi i oznake. Mjesta i prijelazi predstavljaju čvorove PN. Stanja, kao i određeni uvjeti u sustavu diskretnim događajima, mogu se prikazati kao PN mjesta, a događaji kao PN prijelazi. Više o PN može se pronaći u [1,2].

Korišteni algoritam koristi MRF1 klasa PN. Ta vrsta mreža pruža matričnu metodu za predviđanje i izbjegavanje konflikata i zastoja u sustavu. Simulacijom takvog matričnog modela kojemu je dodana i vremenska komponenta, u svakom trenutku se može pratiti stanje izvođenja poslova i stanje resursa.

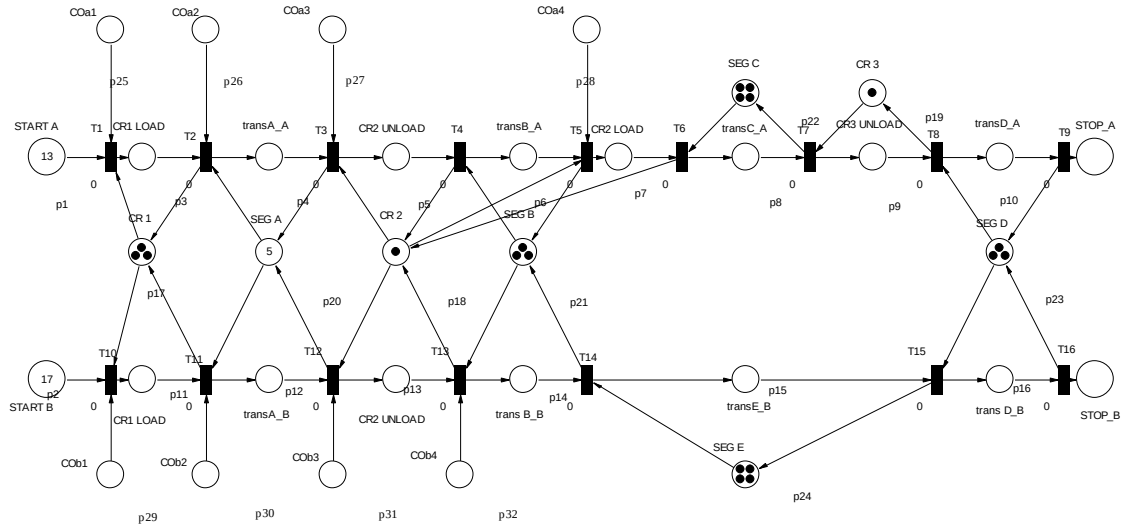
Sl. 2 prikazuje PN model promatranog sustava. Mjesta pripadaju MRF1 PN mreži, a predstavljaju resurse i poslove. Skup poslova u sustavu je:

$$J = \{CR1ukrcaj_A, transA_A, CR2iskrcaj_A, transB_A, CR2ukrcaj_A, transC_A, CR3iskrcaj_A, transD_A, CR1ukrcaj_B, transA_B, CR2iskrcaj_B, transB_B, transE_B, transD_B\} \quad (1)$$

a skup resursa je:

$$R = \{CR1, CR2, CR3, SEG_A, SEG_B, SEG_C, SEG_D, SEG_E\}. \quad (2)$$

Resursi su ograničenog kapaciteta $RD(i)$, ($i=1, \dots, 8$). Kapaciteti resursa 1-3 su određeni brojem dizalica koje mogu opsluživati AGV-ove, a kapaciteti resursa 4-8 odnose se na broj AGV-ova koji mogu voziti određenim segmentom.



Sl. 2. CPN model AGV prometa na kontejnerskom terminu.

Na početku simulacije kapaciteti resursa su zadani kako slijedi

Kapaciteti dizalica CR1, CR2, CR3 su redom: $RD(1)=3$, $RD(2)=1$, $RD(3)=2$, a kapaciteti segmenata SEG_A, SEG_B, SEG_C, SEG_D, SEG_E: $RD(4)=5$, $RD(5)=1$, $RD(6)=4$, $RD(7)=1$, $RD(8)=4$.

Mjesta p_1, p_2 predstavljaju skup ulaznih mjesta {START_A, START_B}, a skup izlaznih mjesta je {STOP_A, STOP_B}. Ulazna mjesta označavaju polazišne lokacije gdje obalne dizalice podižu kontejnere i prebacuju ih na vozila. Izlazna mjesta su odredišta AGV vozila. Broj oznaka u mjestima p_1 i p_2 označava da će broj kontejner koji će biti prebačen AGV-ovima koji voze rutom A, odnosno rutom B. Kontrolna mjesta $COA_1 - COA_6, COB_1 - COB_5$ pripadaju kontroleru i osiguravaju da se poslovi u mreži izvode bez konflikta i bez zaglavljenja.

2.3. Više-objektni genetski algoritam

Iz matričnog modela, GA proceduri moraju se prosljediti podatci kao što su vrijeme trajanja poslova, relacije koje se odnose na slijed poslova, raspoloživost resursa, potrebe poslova za resursima. GA parametre, kao što su broj eksperimenata, veličina populacije i vjerojatnost genetskih operatora odredi sam korisnik. Kod ove aplikacije pojedina ruta (smjer A ili B) kojom AGV prevozi kontejner gledat će se kao pojedini projekt koji se sastoji od određenog broja poslova koji su navedeni u izrazu (1) i poslovi se moraju obaviti određenim redoslijedom. Svaki posao se izvršava uz uporabu određenog resursa i traje određeni broj vremenskih jedinica (minuta). Projekti su različitog prioriteta i postoje kašnjenja u izvršavanju pojedinih poslova.

U genetskom algoritmu koji se rabi u ovom poglavlju kromosom je prikazan slučajnim distribucijom brojeva iz intervala (0,1). Važna značajka prikaza kromosoma slučajnim realnim brojevima je ta da ako je moguće vektor slučajnih brojeva protumačiti kao moguće rješenje, onda je moguće primijeniti i operator križanja na takvo rješenje [4].

Svaki kromosom je sastavljen od $m+n+m$ gena, gdje je $n=14$ broj poslova, $m=2$ broj projekata:

$$\text{kromosom} = \left(\begin{array}{c} p_1, p_2, k_1, k_2, \dots, k_n, rt_1, rt_2 \\ \text{prioriteti} \quad \text{kašnjenja} \quad \text{vrijeme raspoloživosti} \\ \text{projekata} \end{array} \right) \quad (3)$$

U ovoj aplikaciji koristi se indirektna reprezentacija kromosoma što znači da bi se omogućilo vrednovanje funkcije cilja za svaku jedinku, potrebno je kromosome dekodirati u odgovarajući raspored poslova [1].

Algoritam, u toku iterativnog procesa, pokušava minimalizirati ukupno vrijeme izvođenja svih poslova $J = \{1, 2, \dots, n\}$, što je prvi dio funkcije cilja, i minimalizirati ukupno čekanje AGV-ova na dizalice što je drugi dio funkcije cilja.

Neka je V skup AGV-ova, K skup dizalica, α cijena trajanja izvođenja poslova u jedinici vremena i β su penali po jedinici vremena za čekanje AGV-ova na dizalice. Pretpostavka je da vrijedi $\alpha < \beta$. Funkcija cilja se može predstaviti izrazom:

$$\text{Min} \left(\alpha \sum_{j \in J} F_j + \beta \sum_{l \in V} \sum_{k \in K} \left(y_j^k - e_{il}^l \right) \right) \quad (4)$$

gdje je F_j vrijeme završetka posla, y_i^k vrijeme početka postavljanja (podizanja) i -tog kontejnera na(s) AGV od strane k -te dizalice, e_j^r najraniji mogući početak posla za vozilo l .

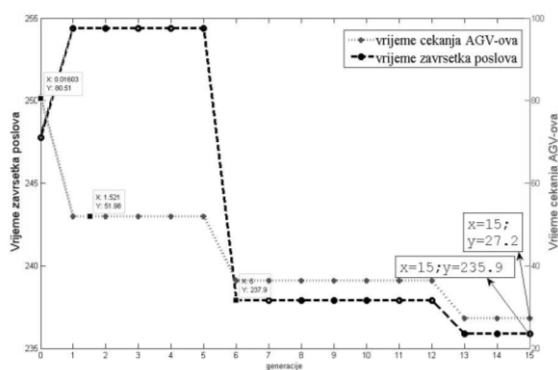
3. REZULTATI

Pretpostavka je da se s broda treba iskrcati 30 kontejnera i da je prosječno vrijeme obalne dizalice za podizanje kontejnera s broda jednako 66 sekundi. Nakon tog vremena kontejner je raspoloživ za ukrcaj na AGV i određena je ruta kojom će AGV voziti (smjer A ili B). Broj AGV-ova potreban da se minimizira vrijeme potrebno za iskrčavanje kontejnera s broda nije konstantan već je ograničen varijablom N , u skladu s cijenom rada i veličinom terminala. Pretpostavka je da su sva vozila potpuno istih mogućnosti i kapaciteta. Brzina punog AGV-a (s kontejnerom) je 3 m/s, a brzina praznog AGV-a je 5.5 m/s. Kontejneri dodijeljeni dizalicama, kao i ruta vozila određuju niz poslova $g_j; i$, gdje je $i \in \{1, \dots, n_g\}$, n_g je broj poslova koje dodijeljeni AGV mora obaviti pri transportu g -tog kontejnera. Posao j označava transport kontejnera s jedne lokacije na drugu.

Težine funkcije cilja su postavljene na $\alpha = 0.1$ i $\beta = 0.9$ što je u praksi i razumno [4,5]. Korišteni GA parametri su: *veličina populacije* = 20 jedinki, *vjerojatnost križanja* = 0.500, *kriterij za kraj* = 15 generacija, elitistička selekcija.

Algoritam je testiran po 10 puta kako bi se provjerila konzistentnost rješenja. Niže su predloženi najznačajniji rezultati.

Iz Sl. 4 razvidno je da se kroz generacije smanjuje i vrijeme izvođenja svih poslova i vrijeme čekanja AGV-ova, ali se prvo minimizira vrijeme izvođenja poslova, jer to vrijeme brže konvergira ka optimumu.



Sl. 4. Odnos vremena završetka svih poslova i vremena čekanja AGV-ova na dizalice

Najbolji rezultat postiže kada je vrijednost funkcije cilja 48.7 minuta, odnosno vrijeme završetka svih poslova je 235.9 minuta, a ukupno vrijeme čekanja svih AGV-ova na dizalice je 27.2 minute (Sl. 4). Dakako, da ovo vrijeme izvođenja svih poslova nije najkraće, ali sada korisnik, podešavanje parametara α i β , mora odlučiti što mu je važnije; da maksimalno iskoristi resurse i tako smanji cijenu troškova resursa ili smanjiti vrijeme

obavljanja poslova i tako omogućiti da brod što prije napusti luku.

Iz sl. 5 vidljivo je da je potrebno 11 AGV-ova za izvođenje svih poslova, i pri tome su 13 puta vozili smjerom A.

broj agv-a	broj kontejnera-RUTA				
agv 1:	1-B	4-A			
agv 2:	2-B	11-B	16-B	13-A	
agv 3:	1-A	5-A	9-A		
agv 4:	2-A	8-B	8-A	12-A	
agv 5:	3-B	6-A	17-B		
agv 6:	3-A	7-A			
agv 7:	4-B	12-B	11-A		
agv 8:	5-B	13-B			
agv 9:	6-B	14-B			
agv 10:	7-B	10-B	10-A		
agv 11:	9-B	15-B			

Sl. 5. Poslovi dodijeljeni AGV-ima

4. ZAKLJUČAK

Kako je problem složen rasporeda poslova AGV-ova zbog velikog broja kombinacija rasporeda poslova, bez imalo gubitka općenitosti, algoritam je primijenjen i testiran na jednom segmentu realnog sustava. Simulirano je iskrčavanje kontejnera s broda, transport do mjesta u skladištu pomoću AGV vozila. Glavni cilj je minimizirati vrijeme koje brod provede privezan u luci, kao i vrijeme čekanja AGV-ova na dizalice, jer se na taj način povećava protočnost cijelog terminala. Ovaj složeni kombinatorni problem je riješen integracijom MRF1 PM i GA. Rezultati pokazuju da sustav ekonomično izvršava slijed zadataka što je važno svugdje, bez obzira o kojoj vrsti sustava je riječ.

5. LITERATURA

- [1] A. Gudelj, D. Kezić, S. Vidačić, Planning and Optimization of AGV Jobs by Petri Net and Genetic Algorithm, JIOS,36(2), 99-122, 2012.
- [2] D. Kezić, A. Gudelj, Design of river system deadlock avoidance supervisor by using Petri net. PROMET, 22(3), 215-221, 2010.
- [3] J.F. Goncavles, J.M. Mendes, M.G.C. Resende, A Genetic Algorithm for the Resource Constrained Multi-Project Scheduling Problem, European Journal of Operational Research, 189,1171–1190, 2008.
- [4] I.F.A. Vis, Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems, European Journal Operation Research, 170, 677–709, 2006.
- [5] I.F.A. Vis, M. Bakker, Dispatching and layout rules at an automated container terminal. Progress in material handling research: Material Handling Institute, Charlotte, North Carolina, 685-703, 2008.