

Modeliranje mreže transportnih staza fleksibilnih transportnih sistema

Prof. dr ĐORĐE ZRNIĆ, redovni profesor, mr NENAD KOSANIĆ, asistent i UGLJEŠA BUGARIĆ dipl. inž., saradnik, Mašinski fakultet, Beograd

Originalan naučni rad
UDC: 658.286.2.001.24:681.3=861

U radu je izložen postupak za određivanje optimalnih smerova u mreži transportnih staza fleksibilnih transportnih sistema (fleksibilnih jednošinih dizalica i sistema automatski upravljanih vozila - AGVS-a), koji se zasniva na 0-1 celobrojnom programiranju. Razvijen je, takođe, softver koji koristi funkciju cilja i neka ograničenja iz 0-1 celobrojnog programiranja, a sledeći originalnu logiku rešava problem određivanja optimalnih smerova transportnih staza za mreže koje sadrže do 30 lukova.

UVOD

Jedan od projektnih parametara fleksibilnih transportnih sistema, veoma važnih za njihov uspešan rad, je layout putanja - transportnih staza po kojima se kreću fleksibilni transportni uređaji [1].

Layout transportnih staza AGVS-a direktno utiče na radne performanse transportnog sistema preko stepena zakrčenosti (gomilanja transportnih uređaja) u pojedinim tačkama ili zonama mreže transportnih staza. Pojava zakrčenosti izazvana je neuravnoteženošću intenziteta toka materijala i ukrštanjima transportnih puteva. Layout transportnih staza, takođe, utiče ne samo na rastojanja koja vozila prelaze, već i na potreban broj vozila i iskorišćenje prostora (površine) pogona [2].

Problem projektovanja transportnih staza, danas, sve više dobija na značaju usled brzog razvoja "free ranging" AGVS-a, koji sve više potiskuju AGVS-e sa starijim sistemima vođenja. Sistemi sa "free ranging" vođenjem nemaju fizičku putanju koju slede vozila (fluorescentnu liniju iscrtanu na podu pogona ili zalepljenu aluminijumsku traku na podu pogona - optičko vođenje, ukopan žičani provodnik u podu pogona - induktivno vođenje, itd.). Upravljanje (vođenje) vozila ostvaruje se tako što vozilo "čita" šifrovane znake (najčešće u obliku bar kodova) koji se postavljaju na određenim mestima u radnim sredinama (proizvodni pogoni, skladišno-distributivni centri...), upoređuje ih sa layout-om radne sredine koji se nalazi u memoriji vozila, i određujući svoju poziciju donosi odluku kuda treba da se kreće da bi stiglo u zadato odredište.

Pri "free ranging" upravljanju, najčešće se u literaturi navodi da vozilo sledi takozvanu "virtualnu stazu toka" [3]. Konfiguracija staze toka zavisi od strukture toka materijala kroz radnu sredinu u datom momentu, tako da se pri svakoj promeni toka materijala (do koje dolazi npr. pri svakoj promeni proizvodnog programa kod proizvodnih pogona itd.) moraju menjati i usmerenja, a nekada i konfiguracija staza toka. Zbog toga je veoma važno da i izračunavanja potrebna

za dobijanje novog layout-a transportnih staza budu u razumnim granicama. Da bi se oslikala ova fleksibilnost pravaca saobraćaja vozila, umesto termina "transportna staza" koristi se termin "staza toka". Termin, takođe, ukazuje na činjenicu da je metodologija koja će biti izložena, primenljiva osim AGVS-a i na ostale fleksibilne transportne sisteme (fleksibilne jednošine dizalice, linije vučnih konvejera i ostale transportne sisteme sa fiksnim putanjama).

Problem projektovanja layout-a staza toka prvi su formulisali Gaskins i Tanchoco [4], 1987. godine (kao i u kasnijim radovima Kaspi i Tanchoco [5]) kao nula - jedan celobrojno programiranje. Layout staza toka formulisan je kao mreža čvorova i lukova (grana). Čvorovi predstavljaju utovarano/istovarne stanice i presečne tačke staza toka, a lukovi segmente staza toka koji povezuju čvorove, slika 1. Funkcija cilja po ovoj formulaciji, predstavlja minimizaciju ukupnih transportnih rastojanja, sa dve vrste ograničenja:

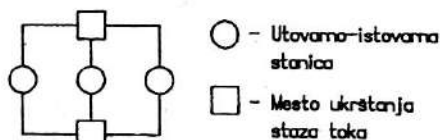
- ograničenja povezanosti - koja obezbeđuju da postoji bar jedan luk koji ulazi u čvor i bar jedan luk koji iz čvora izlazi;

- ograničenja dohvatljivosti (dosezljivosti) - koja obezbeđuju da se u bilo koji čvor može stići iz bilo kog drugog čvora.

Projektovanje putanja kojima se kreću "free ranging" transportna vozila, takođe, je definisano kao celobrojno linearno programiranje sa ograničenjima specifičnim za ovaj tip AGVS-a [3].

OPIS MODELA I OSNOVNE DEFINICIJE

Cilj problema rešavanja layouta putanja toka je nalaženje smera toka (vozila) kroz svaku kariku (segment) mreže



Sl. 1

Adresa autora: Đorđe Zrnić, Mašinski fakultet, Beograd
Rad primljen 24. VI 1993. god.

staza toka. Pretpostavlja se da su svi segmenti mreže staza toka jednosmerni.

Svakom luku dodeljena je dužina jednaka rastojanju između čvorova koje povezuje. Količina materijala koja se kreće između utovarno/istovarnih stanica daje se matricom od - do. U postupku figuriraju sledeće promenljive i parametri [5].

f_{lm} - intenzitet toka od utovarnog čvora l do istovarnog čvora m,

d_{ij} - dužina luka i-j (rastojanje od čvora i do susednog čvora j),

Y_{lm} - dužina puta od utovarnog čvora l do istovarnog čvora m.

$$X_{ijlm} = \begin{cases} 1, & \text{ako je luk i-j uključen u put do utov. čv. l do ist. čvora m} \\ 0, & \text{u suprotnom} \end{cases}$$

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ako je luk i-j usmeren od čvora i ka čvoru j} \\ 0, & \text{u suprotnom} \end{cases}$$

Analiitički model (0-1 celobrojno programiranje)

Funkcija cilja za određivanje layout-a jednosmerne mreže staza toka, sastoji se u minimiziranju ukupnog rastojanja koja vozila treba da prevale:

$$\min \sum_{l,m} f_{lm} Y_{lm}$$

Ograničenja su:

C1. Dužina puta od utovarnog čvora l do istovarnog čvora m je:

$$\sum_{i,j} X_{ijlm} d_{ij} = Y_{lm} \quad \forall l, m$$

C2. Put od utovarnog čvora l do istovarnog čvora m mora biti fizički moguć:

$$X_{ijlm} \leq Z_{ij} \quad \forall l, m \quad \forall i, j$$

C3. Ograničenja jednosmernosti:

$$Z_{ij} + Z_{ji} \leq 1 \quad \forall i, j$$

C4. Čvor mora imati bar jedan ulazni luk:

$$\sum_i Z_{ij} \geq 1 \quad \forall j$$

C5. Čvor mora imati bar jedan izlazni luk:

$$\sum_k Z_{jk} \geq 1 \quad \forall j$$

C6. Jedan izlazni luk iz utovarnog čvora l koristi put od čvora l do istovarnog čvora m:

$$\sum_k X_{lkdm} = 1 \quad \forall l, m$$

C7. Jedan ulazni luk u istovarnu stanicu m koristi put od utovarnog čvora l do istovarnog čvora m:

$$\sum_k X_{kmlm} = 1 \quad \forall l, m$$

C8. Broj ulaznih lukova jednak je broju izlaznih lukova:

$$\sum_i X_{ijlm} = \sum_k X_{jkdm} \quad \forall l, m \quad \forall j$$

Umesto ograničenja C7. i C8. mogu se koristiti i ograničenja C9. i C10. [4]

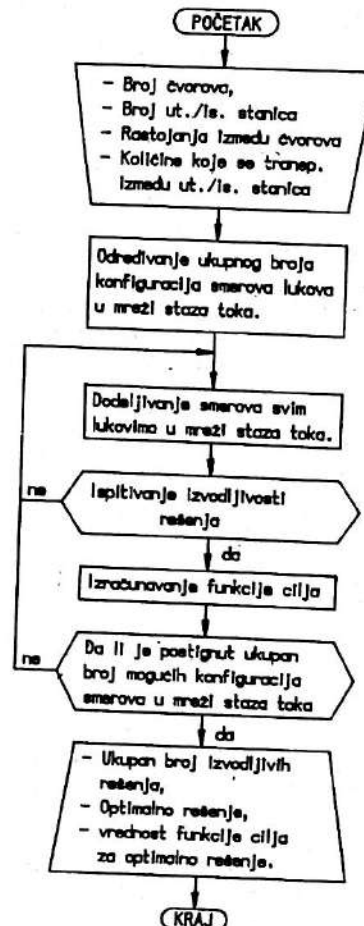
C9. Mora postojati bar jedan izlazni luk iz grupe čvorova:

$$\sum_j X_{ij} > 1 \quad \forall i \in S, \forall S$$

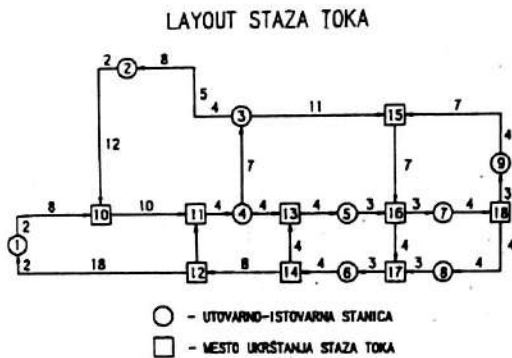
gde su j' čvorovi susedni sa čvorom i, a S grupa susednih čvorova.

C10. Mora postojati bar jedan ulazni luk u grupu čvorova:

$$\sum_i X_{i,j} \geq 1 \quad \forall j \in S, \forall S$$



gde su i' čvorovi susedni sa čvorom j , a S grupa susednih čvorova.



SL 3

Tabl. 1 - Intenzitet transporta između lokacija (TJ/dan)

DO	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	4	13	50	12	3	0	0
2	0	0	4	7	4	12	10	24	0
3	4	12	0	0	0	4	0	0	0
4	0	4	8	0	0	13	3	0	0
5	35	0	0	0	0	4	0	0	15
6	15	12	0	0	0	0	8	0	10
7	0	12	4	8	0	0	0	3	0
8	3	21	0	0	0	0	3	0	0
9	15	0	0	0	0	10	0	0	0

Tabl. 2 - Rastojanja između lokacija (m)

DO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	20	0	0	0	0	0	0
2	0	0	17	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	17	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0
4	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	3	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	3	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	4
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	3
10	10	14	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	4	0	0	0	0	0	10	0	4	0	0	0	0	0	0
12	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	8	0	0	0	0
13	0	0	0	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	8	4	0	0	0	0	0
15	0	0	11	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	7	0	0
16	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	7	0	4	0
17	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	4	8	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Osnovna teškoća u traženju rešenja problema definisanog na ovaj način, leži u jako velikom broju promenljivih i jednačina i nejednačina koje definišu ograničenja, a koja se javljaju u realnim problemima. Npr. za problem sa 10 utovarno/istovarnih stanica sa ukupno 30 čvorova potrebno je definisati 10.000 promenljivih. Usled ovako "zastrašujućeg" broja promenljivih i ograničenja koje treba ispisati (čak i za veoma jednostavne mreže staza toka) najčešće se pribegava postupku "grananja i ograničavanja" [5].

Kako je, međutim, i postupak "grananja i ograničavanja" glomazan, pristupilo se izradi originalnog programa koji koristi formulaciju funkcije cilja i prvih pet ograničenja iz analitičkog modela, a primenjujući posebno razvijenu logiku, rešava probleme određivanja optimalnih smerova staza toka za mreže staza toka koje sadrže do 30 lukova. Algoritam

programa dat je na slici 2. Najpre se izračunava ukupan broj (konfiguracija) smerova u mreži staza toka. Ukupan mogući broj konfiguracija smerova staza u mreži staza toka, određuje se kao broj varijacija od broja lukova, druge klase (lik može imati dva usmerenja). Ako konfiguracija ne ispuni bar jedno od navedenih ograničenja, rešenje nije fizički izvodljivo i odbacuje se. Za izvodljiva rešenja izračunavaju se funkcije cilja. Pošto se ispitaju sve moguće konfiguracije smerova lukova u mreži staza toka, program daje ukupan broj izvodljivih rešenja (mogućih konfiguracija staza toka) i optimalno rešenje sa vrednošću funkcije cilja. Zbog softverskih ograničenja paketa u kome je program pisan, za mreže staza toka koje imaju više od 30 lukova, da bi se došlo do rešenja potrebno je i više dana neprekidnog rada računara [2], [6].

ZAKLJUČAK

Problem projektovanja staza toka, danas, sve više dobija na značaju usled brzog razvoja "free-ranging" AGVS-a (sistema koji će odgovoriti na transportne zahteve fabrika budućnosti). U ovom sistemu vozila slede takozvanu "virtualnu stazu" ("virtualnu stazu toka"). Konfiguracija staze toka zavisi od strukture toka materijala kroz proizvodnu celinu u datom momentu, tako da se pri svakoj promeni toka materijala (do koje dolazi pri svakoj promeni proizvodnog programa) mora menjati i usmerenje, a nekada i konfiguracija staze toka. Zbog toga je veoma važno da i izračunavanja potrebna za dobijanje novog layout-a staze toka, budu u razumnim granicama, a što je u potpunosti postignuto navedenim programom.

PRIMER

Na osnovu layout-a pogona, najpre se projektuje mreža staza toka, koja se sastoji od čvorova i lukova.

Količine transportnih jedinica koje treba transportovati između pojedinih lokacija date su u tabeli 1. Rastojanje između čvorova data su matricom rastojanja, tabela 2.

Za ovakva transportna rastojanja i broj transportnih jedinica koje treba transportovati između pojedinih lokacija, optimalni smerovi dirigovanih staza dobijeni primenom programa, [6], sl. 3 su:

1-10 12-1 3-2 2-10 4-3 3-15 11-4 4-13 13-5 5-16 6-14 17-6

16-7 7-18 8-17 18-8 9-15 18-9 10-11 12-11 14-12 14-13 15-16 16-17

Funkcija cilja ima vrednost $F = 12952$

Broj mogućih putanja (broj mogućih kombinacija smerova staza toka koje zadovoljavaju ograničenja - izvodljiva rešenja) je 7192.

LITERATURA

- [1] Zrnić Đ., *Projektovanje fabrika*, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.
- [2] Kosanić N., *Prilog razvoju matematičkih modela fleksibilnih transportnih sistema*, Magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1992.
- [3] Gaskins J.R., Tanchoco J.M.A., Taghoboni F., *Virtual flow path for free-ranging automated guided vehicle systems*, International Journal of Production Research, Vol. 27, No 1, 91-100 str., 1989.
- [4] Gaskins, R.J., and Tanchoco, J.M.A., *Flow path design for automated guided vehicle systems*, International Journal of Production Research, Vol. 25, No 5, 667-676 str., 1987.
- [5] Kaspi M., Tanchoco J.M.A., *Optimal-flow path design of unidirectional AGV systems*, International Journal of Production Research, Vol. 28, No 6, 1023-1030 str., 1990.
- [6] *Paket programa za određivanje optimalnih smerova u mreži transportnih staza AGVS-a (ili fleksibilnih visecih transportera)* - Bugarić U., Kosanić N., (interna dokumentacija), Institut za mehanizaciju - Mašinski fakultet Beograd, 1992.

SUMMARY

MODELING OF FLOW PATH NETWORK OF FLEXIBLE TRANSPORT SYSTEMS

This paper presents an approach to determining the optimal flow path of flexible transport systems (flexible monorail, AGVS) based on 0-1 integer programming problem. A genuine software is developed which partly use 0-1 integer programming formulation, and using original logic solving optimal flow path for networks which contents 30 arcs max. A illustrative example is presented.