

# Sustavi za upravljanje heterogenom flotom ljudi i robota u logističkim centrima

Herman Zvonimir Došilović

Voditelj: *prof. dr. sc. Domagoj Jakobović*

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet elektrotehnike i računarstva

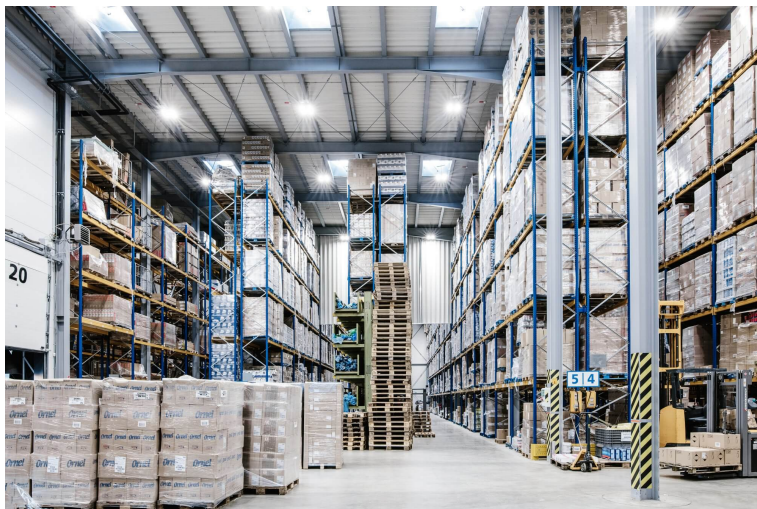
Zagreb, lipanj 2019.



# Sadržaj

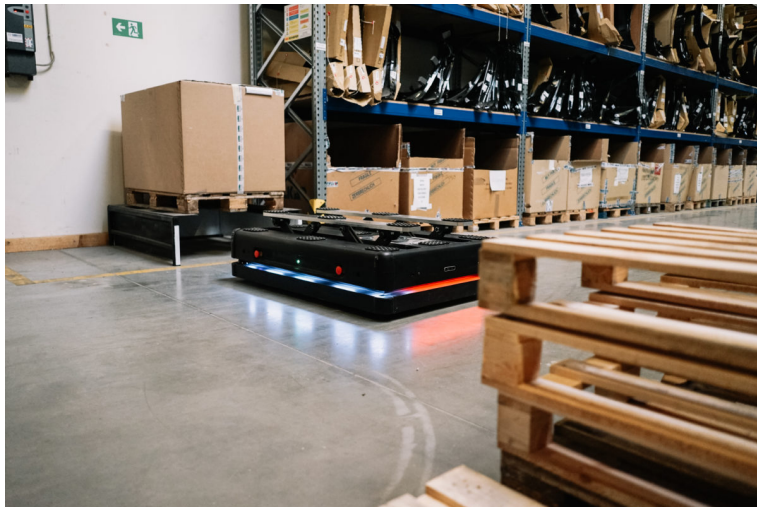
- 1 Uvod
- 2 Formalan opis problema raspoređivanja heterogene flote
  - Definicija heterogene flote
  - Definicija artikala i narudžbe
  - Opis stanja skladišta
  - Ulazni podaci
  - Očekivani izlazni podaci
  - Ocjena kvalitete
- 3 Raspoređivanje
  - Metode rješavanja problema raspoređivanja
- 4 Raspoređivanje heterogene flote
- 5 Zaključak

# Uvod (1)



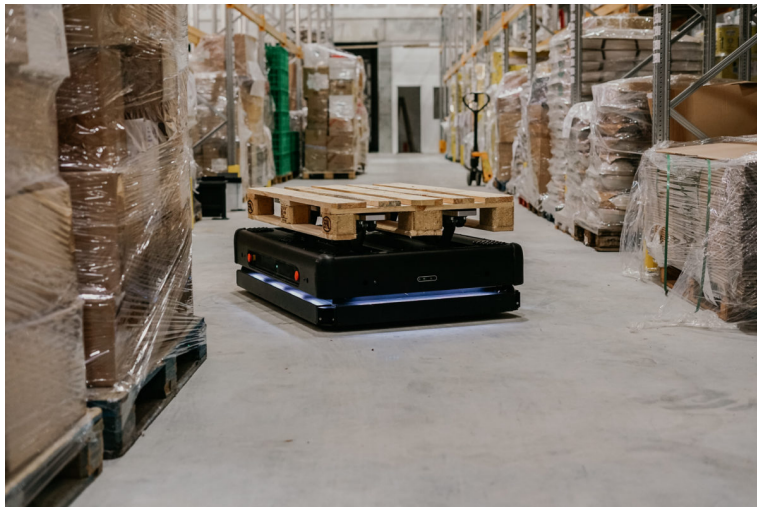
Slika 1: Logistički centar [1].

## Uvod (2)



Slika 2: Autonomni mobilni robot hrvatske tvrtke Gideon Brothers [2].

# Formalan opis problema raspoređivanja heterogene flote



Slika 3: Robot s praznom paletom, koji može započeti izvršavati narudžbu. [3].

# Formalan opis problema raspoređivanja heterogene flote

## Definicija heterogene flote

Heterogena flota sastoji se od  $N_p$  ( $1 \leq N_p \leq 25$ ) ljudi i  $N_r$  ( $1 \leq N_r \leq 50$ ) robota, koji se mogu kretati u po skladištu širine  $W$  ( $W \in \mathbb{N}$ ,  $1 \leq W \leq 4500$ ) i dužine  $L$  ( $L \in \mathbb{N}$ ,  $1 \leq L \leq 4500$ ). Skladište se može prikazati kao skup točaka:

$$S = \{(x, y) \mid x, y \in \mathbb{N} \wedge 1 \leq x \leq W \wedge 1 \leq y \leq L\}, \quad (1)$$

- $M_i$  ( $0 \leq i < N_p$ ) - označava poziciju  $i$ -tog čovjeka,
- $R_i$  ( $0 \leq i < N_r$ ) - označava poziciju  $i$ -tog robota,
- $d_m(A, B)$  - označava vrijeme koje je potrebno čovjeku da od točke  $A$  dođe do točke  $B$  i obrnuto,
- $d_r(A, B)$  - označava vrijeme koje je potrebno robotu da od točke  $A$  dođe do točke  $B$  i obrnuto.



# Formalan opis problema raspoređivanja heterogene flote

## Definicija artikala i narudžbe

Skup svih artikala  $I$  zapravo je skup svih pozicija na kojima se artikli nalaze:

$$I = \{A, A \in S\}. \quad (2)$$

$I_i$  ( $0 \leq i < |I|$ ) označava  $i$ -ti artikl u skupu  $I$ .

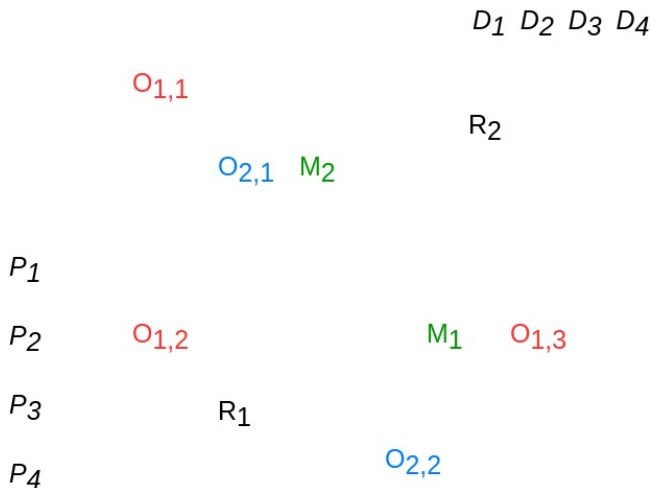
Narudžba  $O_k$  definirana je kao skup dvojki  $(i, t_i)$ , gdje je  $t_i$  vrijeme koje je potrebno da čovjek stavi artikl  $I_i$  na robota kada robot izvršava narudžbu  $O_k$ :

$$O_k = \left\{ (i, t_i) \mid i \in 2^{\{0,1,\dots,|I|-1\}} \setminus \{\emptyset\}, t_i \in \mathbb{R}_{\geq 0} \right\}. \quad (3)$$



# Formalan opis problema raspoređivanja heterogene flote

Opis stanja skladišta



Slika 4: Vizualni primjer stanja skladišta.



# Formalan opis problema raspoređivanja heterogene flote

## Ulazni podaci

- Formatirano stanje skladišta.
- Sustav će na ulaz dobiti novo stanje skladišta nakon svake nove pristigle narudžbe.
- Budući da narudžbe pristižu stohastički onda se ne zna niti koliko često će sustav dobivati novo stanje skladišta na temelju kojega treba donesti nove odluke.



# Formalan opis problema raspoređivanja heterogene flote

## Očekivani izlazni podaci

- Od sustava se očekuje da za svakog robota odredi narudžbe koje će izvršiti.
- Od sustava se očekuje da za svaki artikl odredi koji čovjek će ga staviti na pripadajućeg robota.

# Formalan opis problema raspoređivanja heterogene flote

## Ocjena kvalitete

Na temelju odluke sustava gradi se raspored čija kvaliteta (engl. *fitness*) je tim veća što je prosječno vrijeme izvršavanje narudžbe manje. Ako s  $t_{s,i}$  označimo vrijeme početka izvršavanja narudžbe  $i$ , a s  $t_{e,i}$  vrijeme završetka izvršavanja narudžbe  $i$ , onda je prosječno vrijeme izvršavanja narudžbe jednako:

$$\overline{T} = \sum_{i=0}^{|O|-1} t_{e,i} - t_{s,i}, \quad (4)$$

a kvaliteta rasporeda  $f$  jednaka je  $f = \overline{T}^{-1}$ . Cilj je pronaći takav raspored koji će minimizirati  $\overline{T}$ , odnosno maksimizirati  $f$ .



## Raspoređivanje (2)

Raspoređivanje određuje raspodjelu resursa zadacima u zadanom vremenskom intervalu s ciljem optimizacije jednog ili više kriterija [4].

Resursi i zadaci su opisani različitim karakteristikama koje su bitne za raspoređivanje.

- resursi, strojevi ili sredstva
- zadaci, poslovi ili aktivnosti
- *online* i *offline*
- statički (deterministički) i dinamički (stohastički)

## Raspoređivanje (2)

U svim problemima raspoređivanja pretpostavlja se da je broj poslova  $n$  i broj strojeva  $m$  konačan. Oznakom  $j$  najčešće se označava posao, a s  $i$  stroj. Poslovi su najčešće opisani sljedećim informacijama:

- $p_{ij}$  - vrijeme izvršavanja posla  $j$  na stroju  $i$ ,
- $r_j$  - vrijeme u kojem posao  $j$  postane raspoloživ za raspoređivanje,
- $d_j$  - vrijeme željenog završetka  $i$
- $w_j$  - prioritet posla.

# Raspoređivanje

## Metode rješavanja problema raspoređivanja

- NP-teški problemi.
- Heurističke metode koje ne pronalaze nužno optimalno rješenje.
- Algoritmi koji pretražuju prostor stanja (statička *offline* okruženja)
  - ▶ genetski algoritmi, simulirano kaljenje, optimizacija rojem čestica, mravlja algoritam, itd.
- Algoritmi koji grade rješenje izravno (dinamička *online* okruženja)
  - ▶ Na temelju stanja sustava određuju kako raspodijeliti pojedini posao.

# Raspoređivanje heterogene flote

U DRCFJSP problemu na raspolaganju je skup od  $n$  nezavisnih poslova  $J = \{J_1, J_2, \dots, J_n\}$ , zatim skup od  $m$  strojeva  $M = \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ , i skup od  $l$  radnika  $W = \{W_1, W_2, \dots, W_l\}$ . Svaki posao ima  $r$  operacija  $\{O_{i,1}, O_{i,2}, \dots, O_{i,r}\}$ . Svakim strojem  $M_i$  mora upravljati neki radnik iz skupa  $W$ .

- Narudžbe prikazujemo kao ljude.
- Operacije prikazujemo poslova kao artikle.
- Strojeve prikazujemo kao mjesta gdje se artikli nalaze.
- Ljude prikazujemo kao radnike.

# Zaključak

- NP-teški problemi.
- Ovisno o vrsti problema odabrat će se željena metoda raspoređivanja.
- Opisan je i formalno definiran novi problem koji je povezan s DRCFJSP problemom.



- [1] Smart & Simply d.o.o. Dacar - logistički centar — Smart & Simply - Inteligentna rješenja za inteligentne domove, 2019. URL <https://www.smartsimply.hr/logisticki-centar>.  
Pristupano: 03.06.2019.
- [2] Gideon Brothers. Logistics robot lingo, 2019. URL <https://www.gideonbros.ai/strategy/glossary-of-logistics-robotics>.  
Pristupano: 09.05.2019.
- [3] Gideon Brothers. Poll debunks the myth of job-destroying robot, 2019. URL <https://www.gideonbros.ai/trending/poll-debunks-the-myth-of-job-destroying-robot>.  
Pristupano: 09.05.2019.
- [4] Michael L. Pinedo. *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. Springer, 2016.