

Diplomski rad br. 137

# Rješavanje problema usmjeravanja vozila u pomorskim lukama

Luka Matijević

Mentor: doc. dr. sc. Marko Đurasević

Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb

Srpanj, 2023.

# Sadržaj

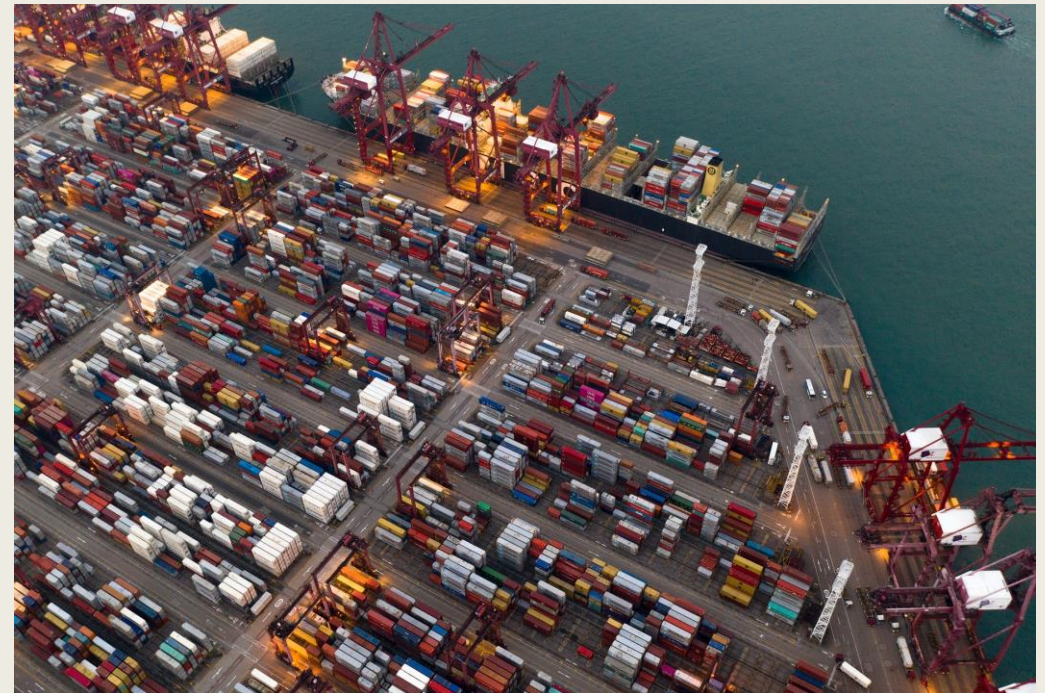
---

1. Uvod
2. Razrada problema
3. Pristup
4. Rezultati
5. Zaključak

# Uvod

---

- Ningbo luka, Kina
- 1,26 milijardi tona tereta (2022.)
- prijevoz kontejnera unutar mreže od 9 gradova
- ograničen broj vozila



Slika 1: Simboličan prikaz pomorske luke, [izvor](#)

# Razrada problema

- 100 identičnih vozila
- potrebno je obaviti sve zadatke unutar njihovih vremenskih prozora
- minimizirati udio *praznih putanja*
- $LDR = LD / (LD+UD)$



Slika 2: Primjer jednog zadatka neke instance

# Razrada problema

---

- OVRPTW (Open VRP with Time Windows)
- NP-težak problem s usko ograničenim prostorom pretraživanja
- ogroman prostor pretraživanja -  $|S| * K * |T|!$
- kvalitetan pristup mora dobro usmjeravati pretraživanje zbog složenosti problema

# Pristup

---

- VNTS (Variable Neighbourhood Tabu Search)
- prilagodba parametara ovisno o karakteristikama instance i nedavnom napretku algoritma
- balans intenzifikacije i diverzifikacije
- priručna memorija (cache) i paralelizacija algoritma
- razmatra isključivo izvediva rješenja

# Pseudokod algoritma

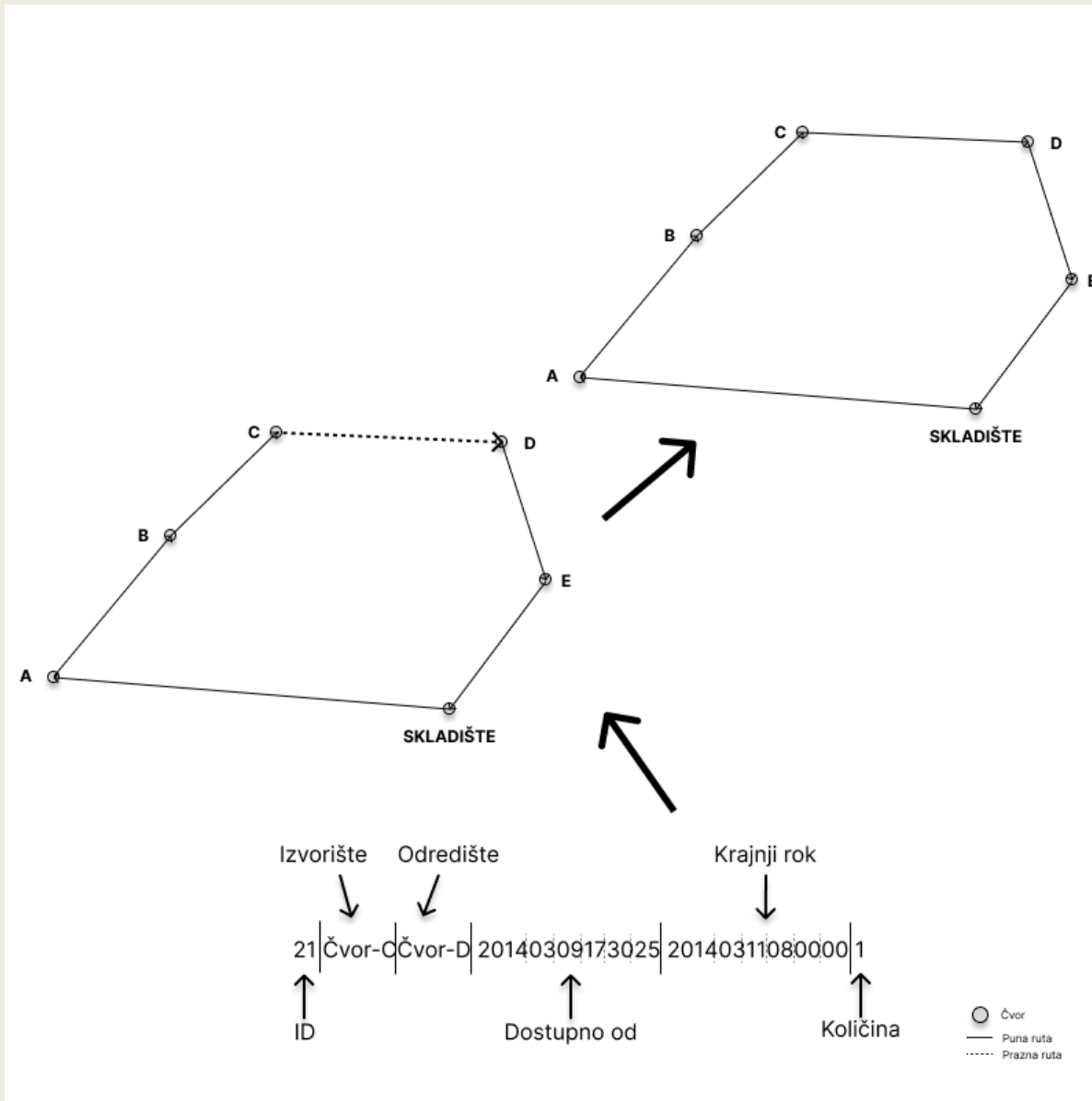
---

```
1.  $P \leftarrow \text{inicijaliziraj\_parametre}(\text{instanca})$            ▷ Inicijalizacija parametara
2.  $S \leftarrow \text{inicijaliziraj\_pocetno}(\text{instanca}, P)$        ▷ Inicijalizacija početnog rješenja
3. VNTS pretraga:
   while !uvjet_zaustavljanja do
      $P \leftarrow \text{azuriraj\_parametre}(P)$ 
     while  $i \leq \text{broj\_slojeva}$  do
        $i \leftarrow i + 1$ 
        $\text{susjedstvo} \leftarrow \text{generiraj\_susjedstvo}(S, P)$ 
        $S \leftarrow \text{odaberi}(\text{susjedstvo}, P)$ 
        $\text{tabu\_lista.umetni}(S)$ 
     end while
      $\text{lokalno} \leftarrow \text{lokalna\_pretraga}(S, P)$ 
end while
```

# Generiranje susjedstva

1. uklanjanje zadataka i/ili ruta iz trenutnog rješenja
  2. umetanje dobivenih zadataka na izvediva mjesta -> susjed
- konkretan način generiranja susjedstva ovisi o sloju, fazi (intenzifikacija/diverzifikacija) i trenutnim parametrima
  - parametri: *#slojeva, #susjeda, #ruta, #zadataka, umetni\_optimalno, izaberi\_najboljeg\_susjeda,...*
  - *ukloni\_zadatak: nasumičan, skup, jeftin*
  - *ukloni\_rutu: nasumičnu, kratku, dugu, praznu, punu*





Slika 3: Optimalno umetanje zadatka u postojeću rutu

## Lokalna pretraga

- male izmjene rješenja
- uklanjanje *skupo* smještenih zadataka i ubacivanje istih na optimalne pozicije
- dok postoje poboljšanja

# Rezultati

---

- algoritam testiran s vremenskim limitom od 60 minuta koristeći instance koje se nalaze na [stranici](#)
- tabu lista povećava završnu kvalitetu
- optimum gotovo uvijek nedostižan
- stabilnost je slabost predloženog pristupa
- radi podjednako dobro na svim tipovima instanci

Tablica 1: Rezultati različitih tipova inicijalizacije početnog izvedivog rješenja na instancama veličine 100%

<b>INSTANCA</b>	<b>RSIH</b>	<b>UBIH</b>	<b>WBIH</b>
NP4-1	57.56%	56.22%	55.12%
NP4-2	55.35%	52.12%	52.06%
NP6-1	56.11%	51.15%	52.47%
NP6-2	54.39%	51.57%	50.45%
NP8-1	56.20%	54.28%	55.74%
NP8-2	56.94%	54.52%	54.81%
LB4-1	55.63%	52.45%	55.35%
TB4-3	55.72%	54.39%	54.55%
LU4-5	52.98%	52.24%	51.18%
TU4-7	49.67%	49.08%	48.44%

## Inicijalizacija

- pronalazak početnog izvedivog rješenja
- brza (i kvalitetna) inicijalizacija može biti velika prednost

Tablica 2: Usporedba VNTS algoritma i CPLEX rješavača na stvarnim instancama veličine 25%.  $\sigma$  označava standardnu devijaciju, 30 pokretanja.

<b>INST</b>	<b>BEST</b>	<b>AVG</b>	$\sigma$	<b>BOUND</b>	<b>CPL(24h)</b>
NP4-1	85.05%	83.55%	0.60%	92.36%	78.36%
NP4-2	65.05%	64.67%	0.19%	97.04%	65.14%
NP4-3	72.68%	71.88%	0.57%	100%	64.83%
NP6-1	80.43%	79.68%	0.61%	?	-
NP6-2	70.33%	69.25%	0.60%	?	-
NP6-3	65.98%	65.80%	0.10%	95.20%	54.30%
NP8-1	75.66%	74.53%	0.60%	98.98%	-
NP8-2	79.04%	77.87%	0.56%	100%	-
NP8-3	77.60%	77.05%	0.37%	100%	-

**Rezultati - stvarne instance veličine 25%**

## Rezultati - umjetne instance veličine 25%

Tablica 3: Usporedba VNTS algoritma i CPLEX rješavača na umjetno generiranim instancama veličine 25%.  $\sigma$  označava standardnu devijaciju, 30 pokretanja.

<b>INST</b>	<b>BEST</b>	<b>AVG</b>	$\sigma$	<b>BOUND</b>	<b>CPL(24h)</b>
LB4-1	78.35%	74.78%	1.08%	100%	66.62%
TB4-3	72.17%	71.01%	0.68%	86.31%	69.91%
LU4-5	69.38%	63.40%	1.79%	79.94%	-
TU4-7	52.38%	52.29%	0.06%	52.17%	50.37%
LB8-1	89.58%	88.12%	0.71%	100%	-
TB8-3	70.45%	67.76%	0.89%	82.33%	56.85%
LU8-5	66.15%	65.42%	0.42%	78.33%	57.42%
TU8-7	55.64%	54.90%	0.45%	71.59%	47.65%

Tablica 4: Usporedba VNTS algoritma sa suvremenim algoritmom na stvarnim instancama veličine 100%.  $\sigma$  označava standardnu devijaciju, 30 pokretanja.

INST	VNTS			BOUND	VNS-RLS		
	BEST	AVG	$\sigma$		BEST	AVG	$\sigma$
NP4-1	<b>84.27%</b>	<b>83.20%</b>	1.03%	90.43%	82.99%	81.88%	<b>0.53%</b>
NP4-2	69.61%	68.06%	0.49%	70.23%	<b>69.78%</b>	<b>69.33%</b>	<b>0.19%</b>
NP4-3	<b>74.84%</b>	<b>73.95%</b>	0.59%	79.58%	73.13%	72.11%	<b>0.53%</b>
NP4-4	<b>69.39%</b>	<b>68.76%</b>	<b>0.35%</b>	73.72%	66.76%	66.06%	0.42%
NP4-5	78.75%	78.07%	0.41%	81.20%	<b>80.82%</b>	<b>80.37%</b>	<b>0.16%</b>
NP6-1	77.57%	76.68%	0.96%	83.93%	<b>79.60%</b>	<b>78.96%</b>	<b>0.43%</b>
NP6-2	70.88%	70.03%	0.72%	76.67%	<b>74.10%</b>	<b>73.77%</b>	<b>0.23%</b>
NP6-3	<b>65.68%</b>	<b>65.30%</b>	0.29%	66.90%	58.86%	58.39%	<b>0.21%</b>
NP6-4	79.09%	78.71%	<b>0.33%</b>	80.97%	<b>80.19%</b>	<b>79.29%</b>	0.49%
NP6-5	<b>80.79%</b>	<b>80.35%</b>	<b>0.44%</b>	84.30%	80.15%	78.44%	0.69%
NP8-1	71.97%	71.21%	0.50%	77.04%	<b>73.69%</b>	<b>73.10%</b>	<b>0.26%</b>
NP8-2	73.34%	72.95%	0.34%	77.55%	<b>75.09%</b>	<b>74.52%</b>	<b>0.32%</b>
NP8-3	<b>75.30%</b>	<b>74.54%</b>	0.40%	78.82%	74.31%	73.77%	0.40%
NP8-4	61.80%	61.58%	0.12%	62.53%	<b>61.94%</b>	61.58%	<b>0.05%</b>
NP8-5	<b>73.61%</b>	<b>73.21%</b>	0.27%	76.09%	73.28%	72.84%	<b>0.21%</b>

**Rezultati - stvarne instance veličine 100%**

Tablica 5: Usporedba VNTS algoritma sa suvremenim algoritmom na umjetno generiranim instancama veličine 100%.  $\sigma$  označava standardnu devijaciju, 30 pokretanja.

INST	VNTS			BOUND	VNS-RLS		
	BEST	AVG	$\sigma$		BEST	AVG	$\sigma$
LB4-1	<b>75.37%</b>	<b>74.68%</b>	<b>0.47%</b>	79.47%	73.57%	72.79%	0.51%
LB4-2	<b>78.23%</b>	76.91%	0.55%	86.33%	78.02%	<b>77.52%</b>	<b>0.37%</b>
TB4-3	<b>72.92%</b>	<b>71.87%</b>	<b>0.44%</b>	84.05%	69.52%	68.78%	0.53%
TB4-4	71.46%	70.04%	0.53%	88.74%	<b>72.91%</b>	<b>72.09%</b>	<b>0.51%</b>
LU4-5	<b>64.65%</b>	64.19%	0.36%	74.11%	64.64%	<b>64.22%</b>	<b>0.24%</b>
LU4-6	66.21%	64.63%	0.63%	74.47%	<b>67.89%</b>	<b>67.50%</b>	<b>0.26%</b>
TU4-7	<b>55.95%</b>	<b>55.39%</b>	0.26%	64.05%	53.07%	52.90%	<b>0.19%</b>
TU4-8	<b>56.42%</b>	<b>56.23%</b>	0.13%	63.50%	53.78%	53.58%	<b>0.09%</b>
LB8-1	<b>89.72%</b>	<b>88.02%</b>	<b>0.85%</b>	98.26%	85.86%	83.48%	1.46%
LB8-2	85.11%	83.42%	0.99%	97.97%	<b>94.94%</b>	<b>93.21%</b>	<b>0.82%</b>
TB8-3	<b>70.75%</b>	<b>69.45%</b>	0.61%	87.06%	69.41%	69.01%	<b>0.29%</b>
TB8-4	<b>71.25%</b>	<b>70.33%</b>	<b>0.68%</b>	92.44%	66.08%	65.24%	0.81%
LU8-5	67.66%	66.29%	<b>0.51%</b>	74.27%	<b>67.95%</b>	<b>67.24%</b>	0.52%
LU8-6	66.91%	66.36%	0.33%	71.36%	<b>68.40%</b>	<b>67.87%</b>	<b>0.29%</b>
TU8-7	54.98%	54.09%	0.57%	70.29%	<b>59.72%</b>	<b>59.31%</b>	<b>0.28%</b>
TU8-8	54.09%	53.98%	0.13%	56.54%	<b>54.36%</b>	<b>54.23%</b>	<b>0.12%</b>

Rezultati - umjetne instance veličine 100%

# Zaključak

- NP-težak problem s velikim i usko ograničenim prostorom pretraživanja
- paralelizacija i priručna memorija znatno doprinose algoritmu
- kvaliteta rješenja dobivenih VNTS-om usporediva je sa suvremenim pristupima
- optimum često nedostižan
- idući koraci:
  - bolje usmjeravanje i diverzifikacija ili drugačija heuristika pretraživanja
  - NN za optimizaciju parametara
  - napredniji operatori generiranja susjedstva