

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za matematiko in fiziko

Žan Jernejčič in Ines Šilc

**Reševanje problema trgovskega potnika s  
k-optimalnim in Lin-Kernighanovim  
algoritmom**

Ljubljana, 2020

# 1 Definiranje problema

V projektni nalogi bova reševala Problem trgovskega potnika s pomočjo k-optimalnega in Lin-Kernighanovega algoritma.

Problem trgovskega potnika oziroma Travelling salesman problem (krajše TSP) je problem, kjer imamo podanih  $n$  mest in razdalje med vsemi (za vsak par mest imamo torej podano, koliko sta si oddaljeni). Zanima nas, ali lahko običemo vsako mesto in se na koncu vrnemo v prvotno mesto. Če označimo  $d_{i,j}$  kot razdaljo med  $i$ -tim in  $j$ -tim mestom, iščemo torej:

$$\min_{\pi \in S_n} \sum_{i=1}^{n-1} d_{\pi(i), \pi(i+1)} + d_{\pi(n), \pi(1)}$$

kjer je  $S_n$  množica vseh permutacij danih  $n$  mest.

Naivna rešitev je očitna, pogledamo  $(n - 1)!$  kombinacij, torej iz vsakega mesta v vsako drugo mesto, si zapišemo vse kombinacije in kakšno razdaljo smo prepotovali, ter izberemo tisto možnost, kjer je bila razdalja najkrajša.

Pred začetkom se lahko vprašamo kakšen mora biti graf, da lahko na njem izvajamo sledeča algoritma. Graf **ne sme** imeti **negativnih ciklov**, saj je najcenejši cikel potem očiten, in ustvarimo neskončno zanko, saj bo imela najboljša rešitev ceno  $-\infty$ . Ker imamo opravka s cikli, lahko cikel začnemo v kateremkoli vozlišču, zato lahko vedno gledamo možne poti od začetka.

Za projekt sva uporabila programski jezik `python`. Uporabljala sva naslednje pakete:

- `networkx`: za definiranje in generiranje grafov
- `random`: za generiranje naključnih števil in seznamov
- `matplotlib`: za izrisovanje grafov
- `timeit`: za mertive časovne zahtevnosti
- `itertools`: za generiranje prvotne permutacije

Za preverjanje veljavnosti poti v grafu za problem potujočega trgovca, morava vedeti:

- Vsaka pot trgovca bo morala imeti vsa vozlišča primarnega grafa
- Vsaka pot trgovca bo morala imeti točno toliko povezav kot vozlišč
- Dolžina poti bo morala biti enaka številu vozlišč - 1

## 2 k-optimalni algoritmi

K-optimalni algoritmom, je lokalni algoritmom, kjer iščemo rešitev Problema trgovskega potnika in sorodnih problemov. Algoritmom deluje tako, da zmanjša dolžino trenutnega potovanja, dokler ne dosežemo poti, katere dolžine ne moremo izboljšati.

Poznamo več različic k-opt algoritma. V tej projektni nalogi se bova osredotočila na dve glavni različici k-opt algoritma, to sta 2-Opt in 3-Opt algoritmom. 2-Opt algoritmom deluje tako, da odstrani dve vozlišči grafa (dve mesti), tako razdeli pot na dva dela, poišče najboljšo rešitev podproblema, in nato poveže nazaj mestni na najboljši možen način. 3-Opt algoritmom odstrani tri povezave ali vozlišča, tako dobimo 3 podomrežja mest. V naslednjem koraku analiziramo najboljšo pot med temi tremi podomrežji. To ponavljamo za druge tri povezave, dokler nismo poskusili vseh možnih poti v danem omrežju.

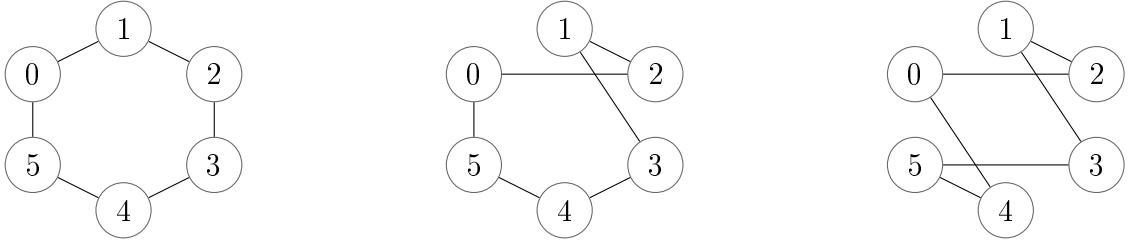
### 2.1 2-opt algoritem

Za začetek 2-opt postopka potrebujemo poln graf z utežmi na vsaki povezavi in danim začetnim ciklom po tem grafu. Postopoma odstranjujemo po dve vozlišči in ju povežemo drugače, nato preverimo, ali je novonastali cikelcenejši. Če je novi cikelcenejši, potem ga vzamemo za boljšo rešitev. Ta postopek nadaljujemo, dokler ne prideemo do konca poti in se moramo vrniti na začetek.

Za algoritmom potrebujemo še dodatno funkcijo, ki nam izračuna ceno poti, ta prejme vhodne podatke graf in pot in sešteje uteži poti v grafu. Dejanski postopek 2-opt algoritma izgleda takole:

```
def dva_opt(graf, pot):  
  
    najboljsa_pot = pot  
  
    izboljsanje = True  
    while izboljsanje:  
        izboljsanje = False  
        for i in range(1, len(pot) - 2):  
  
            for j in range(i + 1, len(pot)):  
  
                if j - i == 1: continue  
                nova_pot = pot  
                nova_pot[i:j] = pot[j - 1:i - 1:-1]  
  
                if cena_poti(graf, nova_pot) < cena_poti(graf, najboljsa_pot):  
                    najboljsa_pot = nova_pot  
                    izboljsanje = True  
                pot = najboljsa_pot  
  
    return (pot, cena_poti(graf, pot))
```

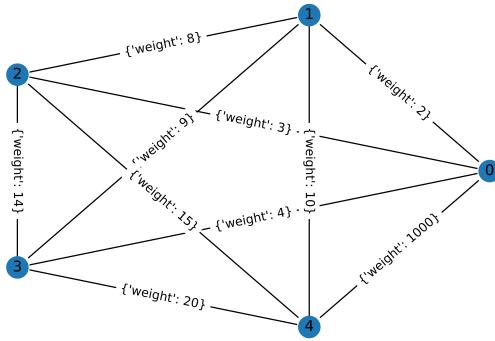
Algoritem gre postopoma po poti in zamenja zaporedje vozlišč, če je le tako bolj optimalno. Dva koraka 2-opt algoritma bi izgledala takole:



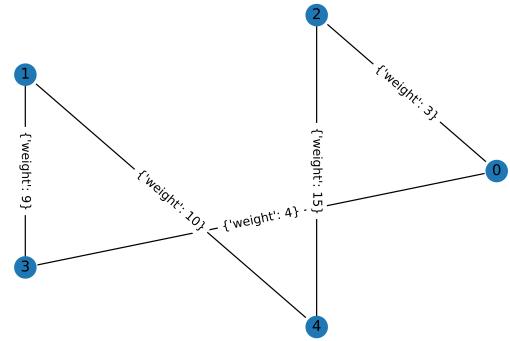
Za primer delovanja si oglejmo preprosto matriko, ki predstavlja graf. Na  $(i, j)$ -tem mestu matrike je cena med mestoma  $i$  in  $j$ . Dana je matrika (1) in njen graf je narisani na sliki ??

$$\begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 & 4 & 1000 \\ 2 & 0 & 8 & 9 & 10 \\ 3 & 8 & 0 & 14 & 15 \\ 4 & 9 & 14 & 0 & 20 \\ 1000 & 10 & 15 & 20 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Rešitev, ki nam jo poda 2-opt algoritem je na sliki 2:

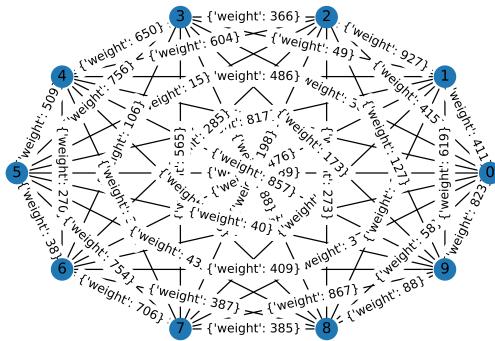


Slika 1: Primer grafa

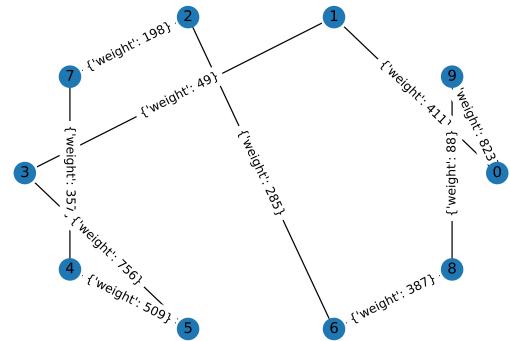


Slika 2: Rešitev primera z 2-opt

Še en primer:

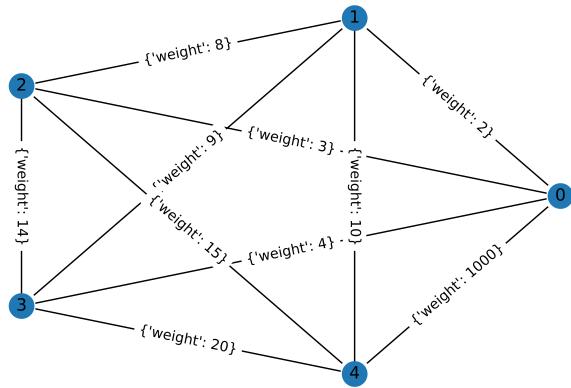
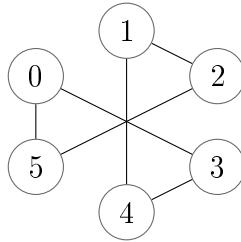
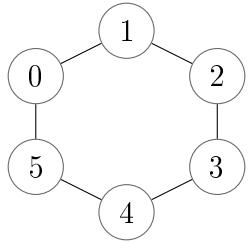


Slika 3: Primer grafa

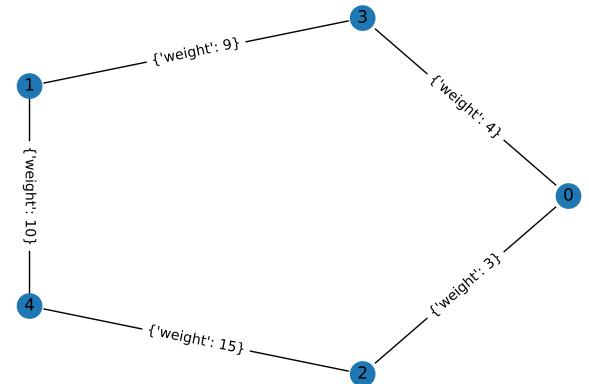


Slika 4: Rešitev primera z 2-opt

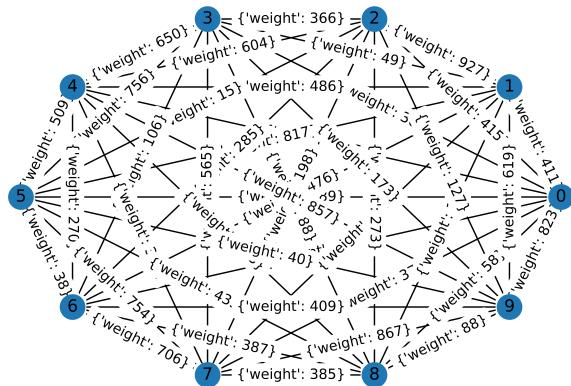
## 2.2 3-opt algoritam



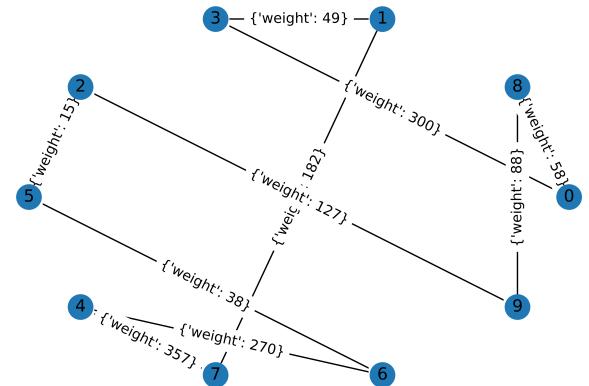
Slika 5: Primer grafa



Slika 6: Rešitev primera s 3-opt



Slika 7: Primer grafa

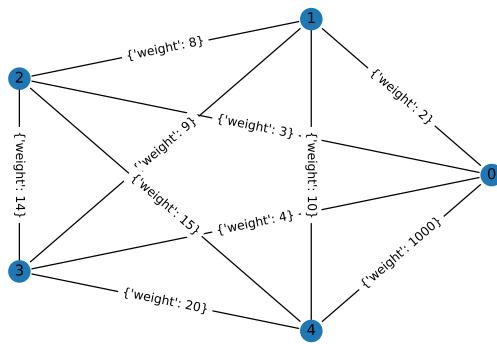


Slika 8: Rešitev primera s 3-opt

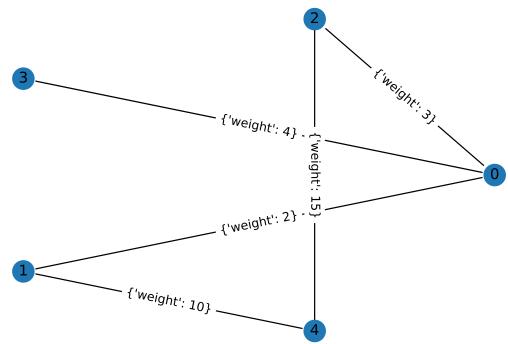
### 3 Lin-Kernighanov algoritem

K-Opt algoritmi so vezani na fiksen  $k$ . Lin-Kernighanov algoritem pa na vsakem koraku preveri katero vrednost  $k$  se nam splača uporabiti. Začnemo s  $k = 2$  in naslednja vrednost je za 1 večja. Vrednost  $k$ -ja se povečuje doker ne najde zamenjave, ki izboljšata obhod, v tem primeru ponastavi k na 2. Če take zamenjave ne najdemo potem k povečamo za 1. Če take zamenjave ne najdemo in preizkusimo vse dovoljene zamenjave, potem je dobljena rešitev lokalni ali pa celo globalni minimum. Običajno Lin-Kernighanov algoritom ne vzame k-ja večjega od 3.

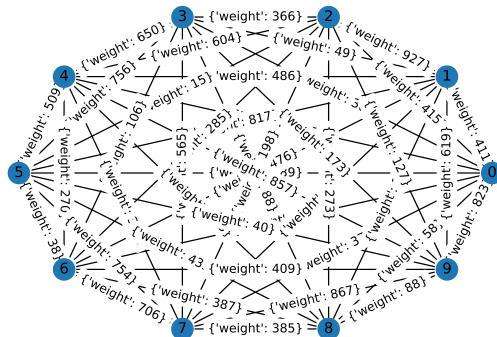
Primer grafa s 5 vozlišči in končne rešitve.



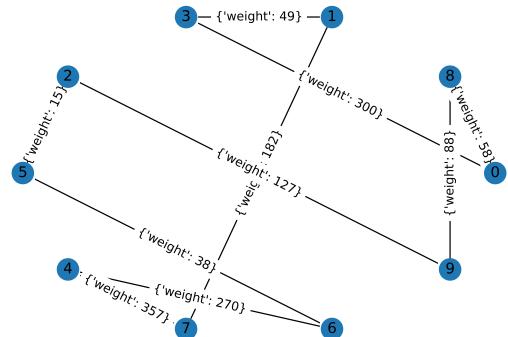
Slika 9: Primer grafa s 5 vozlišči



Slika 10: Rešitev primera z LK algoritmom



Slika 11: Primer grafa z 10 vozlišči



Slika 12: Rešitev primera z LK algoritmom

## 4 Víti

1. A. Hagberg, D. Schult, P. Swart: *NetworkX Reference, Release 2.4*, [ogled 2. 1. 2020], dostopno na [https://networkx.github.io/documentation/stable/\\_downloads/networkx\\_reference.pdf](https://networkx.github.io/documentation/stable/_downloads/networkx_reference.pdf)
2. *Optimization with 2-OPT - Part 1*, [ogled 3. 1. 2020], dostopno na <http://pedrohfsd.com/2017/08/09/2opt-part1.html>
3. *2-opt*, [ogled 3. 1. 2020], dostopno na <https://en.wikipedia.org/wiki/2-opt>
4. *3-opt*, [ogled 4. 1. 2020], dostopno na <https://en.wikipedia.org/wiki/3-opt>
5. *3-opt: basic algorithm*, [ogled 4. 1. 2020], dostopno na <https://tsp-basics.blogspot.com/2017/03/3-opt-iterative-basic-algorithm.html>