

Upute za Projekt iz HMO-a 2016./17.

Energetski učinkovito raspoređivanje virtualnih mrežnih funkcija

Definicija problema

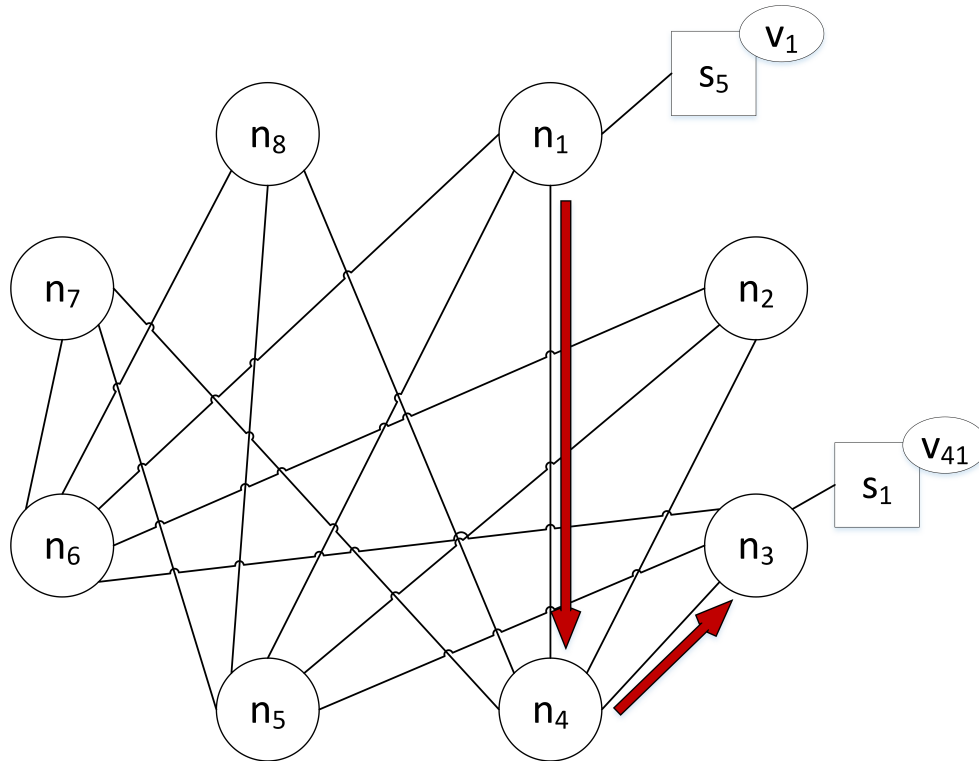
5G mreže nove generacije oslanjat će se na virtualizirane podatkovne centre za izvršavanje mrežnih funkcija. Virtualizacija mrežnih funkcija donijet će značajne uštede u smislu troškova infrastrukture i složenosti upravljanja. Kako bi se minimizirala potrošnja energije potrebne za rad računalne i mrežne infrastrukture, potrebno je izgraditi optimizacijski model koji smješta mrežne funkcije na što povoljniju lokaciju, usmjerava podatke na što povoljniji način, uzimajući u obzir mrežnu topologiju, ograničene računalne i mrežne resurse.

U konkretnom zadatku, mreža se sastoji od čvorova na koje su spojeni poslužitelji te veza između čvorova. Virtualne mrežne funkcije izvršavaju se kroz uslužni lanac koji čini niz komponenti smještenih na poslužiteljima. Komponente međusobno komuniciraju putem spomenute mreže kako bi bila pružena usluga definirana lancem. Čvorovi, poslužitelji i veze koje pritom niti jedna komponenta ne koristi mogu se isključiti, čime se štedi energija. Za zadanu mrežnu topologiju i zadane lance usluga potrebno je rasporediti komponente virtualnih mrežnih funkcija na zadane poslužitelje te odrediti puteve usmjeravanja prometa između komponenti, pri čemu se **minimizira** potrošnja energije potrebne za rad infrastrukture.

Instanca problema

Instanca problema definira čvorove i njihovu potrošnju energije. Također, opisane su veze između čvorova, zajedno s obilježjima tih veza: kapacitetom, potrošnjom energije i kašnjenjem. Zadan je i smještaj poslužitelja po čvorovima te njihova potrošnja energije i dostupni resursi. Instanca definira uslužne lance, zadane kao niz komponenti koje se u lancu koriste. Pojedinačne komponente zadane su sa svojim zahtjevima za resursima. Komponenta "troši" resurse poslužitelja na koji je smještena, a komunikacija između dvije susjedne komponente u uslužnom lancu "troši" dio kapaciteta svih veza na putu između čvorova na kojima se komponente nalaze. Veze su dvosmjerne te je instancom zadan kapacitet za svaki smjer.

U primjeru sa slike poslužitelj s_5 spojen je na čvor n_1 , a poslužitelj s_1 na čvor n_3 . Uslužni lanac definiran je kao niz od dvije komponente, v_1 i v_{41} . Slika prikazuje primjer njihovog smještaja na definirane poslužitelje te put kojim se promet od v_1 do v_{41} usmjerava.



U nastavku je opisana ulazna datoteka instance problema.

```
// broj poslužitelja
numServers = 28;

// broj komponenti virtualnih mrežnih funkcija
numVms = 44;

// broj vrsta poslužiteljskih resursa
numRes = 2;

// broj čvorova
numNodes = 8;

// broj uslužnih lanaca
numServiceChains = 62;

// maksimalna potrošnja energije na poslužitelju
```

```
// indeks označava broj poslužitelja
P_max = [270.0,220.0,190.0,220.0,190.0,290.0,270.0,260.0,280.0,180.0,190.0,...

// minimalna potošnja energije na poslužitelju
// ukoliko je utilizacija procesora 0%
P_min = [108.0,66.0,38.0,66.0,38.0,116.0,108.0,78.0,112.0,36.0,38.0,36.0,32.0,...

// zahtjevi svake komponente za oba resursa
// index je oznaka komponente
req = [
[0.6,0.6,0.6,0.6,0.6,0.6,0.6,0.6,0.6,0.6,0.6,0.6,0.6,0.6,0.6,0.6,0.6,...
[0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,0.3,...

// dostupnost oba resursa na poslužitelju
// index je oznaka poslužitelja
av = [
[2.0,1.2,0.8,1.2,0.8,2.4,2.0,1.8,2.0,0.8,1.2,0.8,0.6,1.8,1.8,2.0,1.8,2.4,0.6,...
[3.2,1.6,1.2,1.6,1.2,1.6,3.2,2.2,3.2,1.2,1.6,1.2,0.8,2.2,2.2,3.2,2.2,1.6,0.8,...

// lokacija poslužitelja na čvorovima
// redak označava poslužitelj, a stupac čvor

al = [
[0,0,1,0,0,0,0,0]
[0,1,0,0,0,0,0,0]
[1,0,0,0,0,0,0,0]
[0,1,0,0,0,0,0,0]
...

// definicije uslužnih lanaca
// redak predstavlja lanac, a vrijednost 1 na i-tom mjestu u retku
// označava uključenost komponente i u lanac
sc = [
[1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,1,1,0,...
[1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,...
[0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,1,0,1,0,1,0,...
...

// potrošnja energije na čvorovima 1-8
P = [480,350,290,350,290,600,480,600];

// definicija veza između čvorova
// <prvi čvor, drugi čvor, kapacitet, potrošnja energije, kašnjenje>
```

Za matematičko definiranje problema potrebno je definirati sve korištene varijable:

4

Varijable odluke	Opis
x_{vs}	1 ako je komponenta v smještena na poslužitelj s , inače 0
y_s	1 ako je poslužitelj s aktivan, inače 0
z_n	1 ako je čvor n aktivan, inače 0
$f_{i,j}^{v_1,v_2}$	1 ako se promet b^{v_i,v_j} proslijeđuje vezom (i,j) , inače 0
$w_{i,j}$	1 ako se veza (i,j) koristi za prijenos prometa, inače 0

Potrošnja energije svakog poslužitelja s linearno raste s porastom utilizacije procesora u rasponu $[P_s^{min}, P_s^{max}]$. Utilizacija procesora se pritom računa zbrajanjem zahtjeva za procesorskim resursima svih komponenti smještenih na poslužitelj i dijeljenjem s ukupno dostupnim procesorskim resursima na poslužitelju. U konkretnoj instanci možete pretpostaviti da prvi resurs predstavlja procesorske resurse. Potrošnja energije svakog aktivnog čvora n iznosi P_n , a potrošnja energije svake aktivne veze iznosi $P_{i,j}$ te je neovisna o količini prometa koji prenosi.

Ukoliko kroz čvor ne prolazi nikakav mrežni promet niti ima aktivnih poslužitelja na čvoru, čvor se može ugasiti te tada ne troši energiju (neaktivno stanje). Poslužitelji se smatraju neaktivnima ukoliko na njima nije smještena niti jedna komponenta virtualnih mrežnih funkcija. Veze također mogu biti neaktivne, ukoliko ne prenose nikakav promet.

Funkcija cilja zadanog problema može se matematički zapisati kao:

$$\min \sum_{s \in S} [P_s^{min} \cdot y_s + (P_s^{max} - P_s^{min}) \cdot \frac{1}{a_{rs}} \cdot \sum_{v \in V} a_{rv} \cdot x_{vs}] + \sum_{n \in N} P_n \cdot z_n + \sum_{(i,j) \in L} P_{ij} \cdot w_{ij}$$

gdje r predstavlja procesorske resurse. Funkcija sumira potrošnju energije uzrokovanu korištenjem resursa na poslužiteljima, potrošnju energije na aktivnim mrežnim čvorovima te potrošnju energije na aktivnim vezama između čvorova.

Ograničenja ovoga problema mogu se definirati sljedećim matematičkim izrazima:

Izraz	Opis
$\sum_{s \in S} x_{vs} = 1, v \in V$	Svaka komponenta v smještena je na točno jedan poslužitelj.
$y_s \leq \sum_{v \in V} x_{vs}, s \in S$	Ukoliko nema komponenti na poslužitelju s , poslužitelj nije aktivan.

$x_{vs} \leq y_s, s \in S, v \in V$	Ukoliko je neka komponenta smještena na poslužitelj s , poslužitelj je aktivan.
$\sum_{v \in V} a_{rv} \cdot x_{vs} \leq a_{rs} \cdot y_s, s \in S, r \in R$	Ukupni resursi zahtijevani od strane svih komponenti smještenih na nekom poslužitelju ne smiju prekoračiti količinu resursa dostupnu na tom poslužitelju.
$\sum_{(v1,v2) \in \cup_{C \in \{C\}} C} b^{v1,v2} \cdot f_{ij}^{v1,v2} \leq b_{ij} w_{ij}, (i,j) \in L$	Ukupan promet koji prolazi vezom (i,j) mora biti manji od kapaciteta te veze. Ukoliko se neki promet $b^{v1,v2}$ prenosi preko veze (i,j) , tada ta veza mora biti označena kao aktivna.
$w_{ij} \leq z_i, w_{ij} \leq z_j, (i,j) \in L$	Ukoliko u čvor ulazi ili iz čvora izlazi aktivna veza, čvor je aktivan.
$f_{ij}^{v1,v2} \leq z_i, f_{ij}^{v1,v2} \leq z_j, (i,j) \in L$	Ukoliko promet ulazi ili izlazi iz čvora, čvor je aktivan.
$\sum_{(v1,v2)} \sum_{(i,j) \in L} l_{ij} \cdot f_{ij}^{v1,v2} \leq l_C, v1, v2 \in C$	Ukupno kašnjenje prilikom izvršavanja funkcija definiranih lancem mora biti manje ili jednako maksimalnom dozvoljenom kašnjenju za taj uslužni lanac.

Projektni zadatak

1. Smislite i implementirajte heuristiku za rješavanje opisanog problema.
2. Izvedite svoj algoritam za zadanu instancu problema.
3. Pohranite svojih 10 najboljih rješenja, dobivenih bez vremenskog ograničenja izvođenja algoritma.
4. Pohranite rješenja dobivena nakon 1 minuta, 5 minuta i 1 sat izvođenja implementirane heuristike (dodatna 3 rješenja).

5. Načinite izvještaj koja opisuje Vaš algoritam. Izvještaj bi trebao uključivati:

- Opis problema
- Opis primijenjenog algoritma, tj. heuristike (prikaz rješenja, funkcija cilja/prikladnosti, način dobivanja početnog rješenja, kriterij zaustavljanja i veličina iteracije, elementi dizajna specifični za odabranu heuristiku...)
- Pseudokod primijenjenog algoritma
- Opis dobivenih rezultata i diskusija (npr. utjecaj određenih parametara heuristike na kvalitetu rješenja, vrijeme izvođenja algoritma)
- Kratki zaključak (Potencijalna poboljšanja?)

***napomena:** datoteke s dobivenim najboljim rješenjima moraju imati:

- naziv koji se sastoji od ključne riječi “res-x-” i vašeg prezimena, pri čemu je x redni broj rješenja (npr. res-1-orsolic.txt)
- dodatna rješenja koja uzimaju u obzir vremenska ograničenja imenujte “res-1m-prezime”, “res-5m-prezime” i “res-1h-prezime”
- svaka datoteka treba sadržavati informacije o smještaju komponenti na poslužitelje te putevima usmjeravanja za susjedne komponente u uslužnim lancima, u sljedećem formatu:

```
x=[  
[0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,0,0,...]  
[0,0,1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,...]  
...  
[1,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,...]  
];
```

```
routes={  
<7,9,[1,4,2]>,  
<5,11,[7,6]>,  
...  
};
```

U danom primjeru rješenja, komponenta 1 smještena je na poslužitelj 7, komponenta 2 na poslužitelj 3, a komponenta 44 na poslužitelj 1. Dobiveni put između komponente 7 i 9 prolazi čvorovima 1, 4 i 2, što znači da je komponenta 7 smještena na čvoru 1, a komponenta 9 na čvoru 2. Komunikacija između komponenti 5 i 11 odvija se putem čvorova 7 i 6.