

Finančni praktikum

k -total rainbow domination numer vs.
domination number

Tim Resnik
Lana Herman
Univerza v Ljubljani

Fakulteta za matematiko in fiziko

November, 2019

Kazalo

1	Problem naloge	2
2	Razlaga pojmov	2
3	Reševanje problema	3
3.1	Majhni grafi	3
3.2	Veliki grafi	5
3.3	Drevesa	6
3.4	Dvodelni grafi	6

1 Problem naloge

V projektni nalogi se bova ukvarjala z domeno, ki se ukvarja s povezavo med 'k-rainbow total domination number' (označimo z $\gamma_{krt}(G)$) in 'domination number' (označimo z $\gamma(G)$). Definiciji za $\gamma_{krt}(G)$ in $\gamma(G)$ sta v razdelku **Razlaga pojmov**.

Domneva pravi, da za graf G in $k \geq 4$ obstaja tesna povezava $\gamma_{krt}(G) \geq 2\gamma(G)$. Cilj najine projektne naloge je najti tak graf, za katerega ta neenakost ne drži. To sva na majhnih grafih preverila na konkretnih primerih, kjer sva število vozlišč in število k vnesla ročno. Za večje grafe sva uporabila metodo *Simulated Annealing*.

Poiskala sva tudi primere, za katere velja enakost $\gamma_{krt}(G) = 2\gamma(G)$.

2 Razlaga pojmov

Graf G ima množico vozlišč $V(G)$ in množico povezav $E(G)$. Za množico $N_G(v)$ velja, da vsebuje vsa sosednja vozlišča v , v grafu G . Za grafa G in H , je kartezični produkt $G \square H$ graf z množico vozlišč $V(G) \times V(H)$.

Dominirana množica grafa G je $D \subseteq V(G)$, taka da za vsako vozlišče $v \in V(G)$ in $v \notin D$ velja, da je sosed nekemu vozlišču iz D . *Dominirano število*, $\gamma(G)$, je velikost najmanjše dominirane množice. Če za $\forall v \in V(G)$ velja, da je sosed vozlišču iz D , za D rečemo, da je *totalno dominirana množica* grafa G . *Totalno dominirano število*, $\gamma_t(G)$, je velikost najmanjše totalno dominirane množice.

Za pozitivno celo število k , je '*k-rainbow domination function*' (k RDF) grafa G funkcija f , ki slika iz $V(G)$ v množico $\{1, \dots, k\}$. Zanja velja, da za katerikoli $v \in V(G)$ in $f(v) = \emptyset$ velja $\cup_{u \in N_G(v)} f(u) = [k]$. Definiramo $\|f\| = \sum_{v \in V(G)} |f(v)|$. $\|f\|$ rečemo *teža* f -a. '*k-rainbow domination number*', $\gamma_{kr}(G)$, grafa G je minimalna vrednost $\|f\|$ za vse '*k-rainbow domination functions*'. Po definiciji vemo, da za vse $k \geq 1$ velja

$$\gamma_{kr}(G) = \gamma(G \square K_k).$$

Graf K_k predstavlja polni graf na k vozliščih. Nazadnje definirajmo še '*k-rainbow total domination function*' (k RTDF), katera se od '*k-rainbow domination function*' razlikuje v dodatnem pogoju, ki zagotavlja, da če za $\forall v \in V(G)$ velja $f(v) = \{i\}$, potem obstaja tak $u \in N_G(v)$, da je $i \in f(u)$. '*k-rainbow total domination number*', $\gamma_{krt}(G)$, grafa G je minimalna vrednost $\|f\|$ za vse '*k-rainbow total domination functions*'. Tudi tu za vse $k \geq 1$ velja

$$\gamma_{krt}(G) = \gamma_t(G \square K_k).$$

3 Reševanje problema

3.1 Majhni grafi

Za majhne grafe sva definirala naslednjo pseudokodo.

```
result=[]; #seznam vseh gamak/gama
gresult=[]; #seznam proti primerov
dvaresult=[]; #seznam grafov, ki imajo x=2
n=15; #število vozlišč
p=0.5; #verjetnost da posamezno povezavo dodaš v graf
for i in range(10): #preveri na 10ih random grafih
    for k in range(2,6):
        g=graphs.RandomGNP(n,p)
        gk=g.cartesian_product(graphs.CompleteGraph(k))
        gama=g.dominating_set(value_only=True)
        gamak=gk.dominating_set(value_only=True,total=True)
        x=float(gamak/gama);
        if x<2: gresult.append(g)
        if x==2: dvaresult.append(g)
        result.append(x)
print(min(result))
```

V kodi seznam *result* predstavlja seznam vseh koeficientov $\frac{\gamma_{krt}(G)}{\gamma(G)}$, seznam *gresult* predstavlja vse tiste grafe, za katere velja neenakost $\frac{\gamma_{krt}(G)}{\gamma(G)} < 2$, seznam *dvaresult* pa predstavlja grafe za katere velja enakost $\frac{\gamma_{krt}(G)}{\gamma(G)} = 2$.

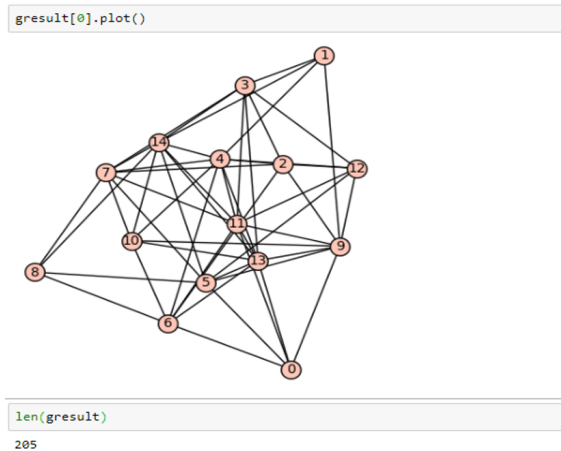
Prva zanka preteče i naključnih grafov, generiranih z že vgrajeno funkcijo iz programa *sage*, imenovano *graphs.RandomGNP(n,p)*, kjer n predstavlja število vozlišč, p pa verjetnost, da posamezno povezavo doda v graf. Ta zanka je porabi $\mathcal{O}(n)$ časa.

Druga zanka se zapelje čez določeni število k -jev, kjer k predstavlja število vozlišč na polnem grafu. Po definiciji namreč vemo, da 'k-rainbow total domination number' izračunamo preko kartezičnega produkta med grafom G in polnim grafom s k vozlišči. Druga zanka porabi $\mathcal{O}(m)$ časa, kjer je m število grafov, ki jih preteče k .

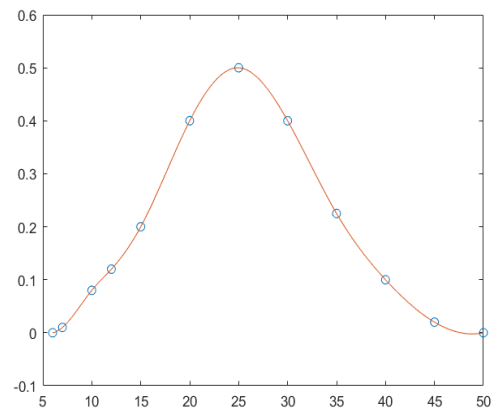
Funkcija *cartesian_product()* porabi $\mathcal{O}(nm)$ časa, saj vsakemu vozlišču iz grafa G (n vozlišč) priredi vsako vozlišče iz k -polnega grafa (m vozlišč).

Torej je časovna zahtevnost te pseudokode enaka $\mathcal{O}(n^2m^2)$.

To kodo sva uporabila za $n \in \{5, \dots, 20\}$ na različnem številu korakov in različnih k -jih. Za $k \geq 3$ sva minimum zmeraj dobila enak 2, za $k = 2$ pa sva dobila veliko protiprimerov, npr.:



Opazimo, da je takih grafov kar 205 (koda je preverila na 1000 grafov s 15 vozlišči). To število se seveda spreminja, ko kodo poženemo večkrat. Zato sva jo pognala večkrat in na različnem številu vozlišč. Vse skupaj je koda pregledala približno 10^{100} grafov, izključno za $k = 2$. Podatke sva izpisala v program *Matlab*, jih za posamezno število vozlišč povprečila in jih aproksimirala z že vgrajeno funkcijo *interp1*. Dobila sva spodnji graf.



Opazimo, da protiprimerov ne dobimo za grafe z manj kot 7 vozlišč, za večje grafe pa velja, da gre število protiprimerov proti nič, ko se večja število vozlišč. Največ pa jih je pri grafih s približno 25 vozlišči.

3.2 Veliki grafi

Za velike grafe sva definirala naslednjo pseudokodo.

```
k = 4
def spremeni_graf(G):
    for i in range(5):
        H = Graph(G)
        if random() < 0.5:
            H.delete_edge(H.random_edge())
            if not H.is_connected():
                H = Graph(G)
        else:
            if H.complement().size() == 0:
                H.delete_edge(H.random_edge())
            else:
                H.add_edge(H.complement().random_edge())
    return H

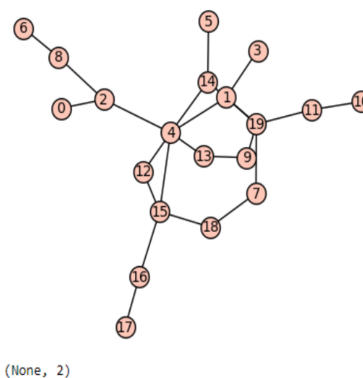
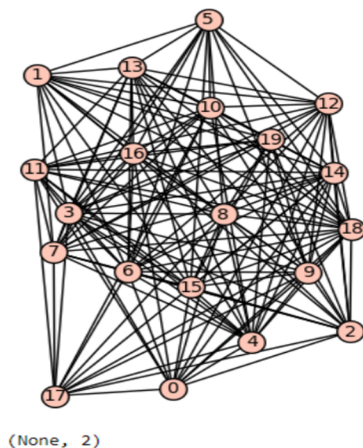
def krit(G):
    gama=G.dominating_set(value_only=True)
    gamak=(G.cartesian_product(graphs.CompleteGraph(k))).dominating_set(value_only=True, total=True)
    return gamak/gama

p = 0
stevilo_korakov = 2000
najboljsi = G
kk = k_min = krit(G)
for p in range(0, stevilo_korakov):
    Temp = stevilo_korakov / (p+1)
    novi = spremeni_graf(G)
    kn = krit(novi)
    razlika = kk - kn
    if razlika > 0:
        G = novi
        kk = kn
        if kn < k_min:
            najboljsi = novi
            k_min = kn
    elif exp((razlika * 100)/Temp) > random():
        G = novi
        kk = kn
    p += 1
print(najboljsi.show(), k_min)
```

Funkcija *spremeni_graf()* nam ne nepovezan graf tako spremeni, da mu naključno odstrani povezavo in naključno doda povezavo. To funkcijo sva definirala zato, da sva jo lahko uporabila v naslenji kodi. Njena časovna zahtevnost je $\mathcal{O}(n^2)$, saj gre čez dve for zanki, vsaka ima zahtevnost $\mathcal{O}(n)$.

Zadnja koda pa predstavlja metodo *Simulated Annealing*. To je metoda za približevanje h globalnemu optimumu dane funkcije. Tako sva s spreminjanjem danega grafa iskala tak graf, za katerega bo veljalo $\frac{\gamma_{krt}(G)}{\gamma(G)} < 2$. To kodo sva pognala na grafih z vsaj 20 vozlišči. Na podlagi najinih poizkusov sva ugotovila, da za grafe s sodim številom vozlišč, za vsak $k \geq 4$, je koeficient enak 2, za grafe z lihim številom vozlišč pa velja formula $\frac{n}{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}$, v primeru $k \geq 5$. Opazimo torej, če pošljemo $n \rightarrow \infty$, gre koeficient proti 2.

Prvi graf ima 20 vozlišč, $k = 4$ in $p = 0.5$, drugi pa ima $k = 5$ in $p = 0.1$.



3.3 Drevesa

Poizkuse sva izvajala tudi na povezanih drevesih, katere sva lahko preverila v celoti na večjem številu vozlišč, saj jih je samih po sebi manj, kot pa npr. vseh možnih povezanih grafov na istem številu vozlišč. Testirala sva za k med 4 in 12, ter število vozlišč do 20. Tu sva opazila, podobne stvari kot pri majhnih grafih, iz česar sklepava, da manj ko ima graf povezav (je podoben drevesu), večja je verjetnost, da se koeficient približa 2.

3.4 Dvodelni grafi

Posebej sva kodo izvajala še na dvodelnih drevesih z vozlišči $n \in \{1, \dots, 20\}$, kjer sva ugotovila, da formula $\lfloor \frac{n}{2} \rfloor$ velja za vsa vozlišča od 1 do vključno s 3, nato pa je koeficient zmeraj enak 2.