

Primena Grafova u HIDROINFORMATICI

Miloš Stanić



Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet

Beograd, 2022.

Dr Miloš Stanić, dipl. građ.inž,
Primena Grafova u HIDROINFORMATICI

Izdavač: Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, Beograd 2022.

Recenzenti:

Dr Dušan Prodanović, dipl.građ.inž, redovni profesor Univerziteta u Beogradu,
Dr Zoran Kapelan, dipl.građ.inž, redovni profesor TU Delft, Holandija,
Dr Boban Stojanović, redovni profesor Prirodno-matematički fakultet Univerzitet u Kragujevcu

Za izdavača: Prof. dr Vladan Kuzmanović, dekan

Odobreno za štampu odlukom Nastavno naučnog veća Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu od 24.02.2022. godine.

Grafičko rešenje korica: Omnibus, Beograd

Štampa: Akademska misao, Beograd

Tiraž: 100

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије, Београд

626/628:004.421

004.421:519.17

СТАНИЋ, Милош, 1964-

Primena grafova u Hidroinformatici / Miloš Stanić. - Beograd :
Građevinski fakultet Univerziteta, 2022 (Beograd : Akademska misao). - 136
str. : ilustr. ; 30 cm

Tiraž 100. - Bibliografija: str. 130-136.

ISBN 978-86-7518-223-8

a) Хидротехника b) Алгоритими - Теорија граfoва

COBISS.SR-ID 63683593

SADRŽAJ

Predgovor	ix
1. UVOD.....	1
1.1. Grafovi u Hidroinformatici	3
1.2. Osnovni pojmovi.....	5
1.3. Načini za predstavljanje i čuvanje grafa	13
2. OSNOVNI ALGORITMI ZA PRETRAŽIVANJE GRAFA	19
2.1. Pretraživanje po širini (BFS).....	19
2.2. Pretraživanje po dubini (DFS)	24
2.3. Analiza rezultata primene algoritama BFS i DFS.....	27
3. Primeri primene algoritama iz oblasti pretraživanja grafa	36
3.1. Algoritam za generalnu analizu i dekompoziciju vodovodne mreže.....	36
3.2. Primena algoritma za identifikaciju prstenova.....	41
4. ALGORITMI IZ OBLASTI TEŽINSKIH GRAFOVA	48
4.1. Pronalaženje najkraćeg puta.....	48
4.2. Minimalno razapinjuće stablo (MST)	51
4.2.1. Kruskal-ov algoritam	53
4.2.2. Prim-ov algoritam (Priority First Search - PFS).....	55
4.3. Pronalaženje minimalnog preseka (Min-Cut)	59
5. Primeri primene algoritama iz oblasti težinskih grafova	66
5.1. Određivanje optimalne dispozicija granate mreže pod pritiskom	67
5.2. Skeletonizacija mreže pod pritiskom	73

5.3.	Delineacija – podela sliva na podslivove	77
5.3.1.	Delineacija korišćenjem GRID modela terena	79
5.3.2.	Delineacija korišćenjem TIN modela terena	82
5.3.3.	Delineacija korišćenjem TIN-a i Voronoievih poligona.....	84
6.	ORIJENTISANI GRAF – DIGRAF.....	88
6.1.	Topološko sortiranje DAG-a.....	92
6.2.	Algoritmi za pronalaženje strogo povezanih komponenti u digrafu	95
6.3.	Maksimalan protok kroz mrežu	98
7.	Primeri primene algoritama iz oblasti orijentisanih grafova... 104	
7.1.	Algoritam za automatsko dimenzionisanje kanalizacione mreže ..	104
7.1.1.	Opis algoritma	106
7.1.2.	Primer primene	110
7.2.	Algoritam za klasterizaciju mreža pod pritiskom	115
7.2.1.	Osnovni koraci algoritma	116
7.2.2.	Kriterijumi za propagaciju i agregaciju DAG-a	119
7.2.3.	Indeks uniformnosti za propagaciju i agregaciju DAG-a	124
8.	ZAKLJUČNA RAZMATRANJA	129
9.	LITERATURA.....	130

SPISAK ALGORITAMA

Algoritam I - Moore-ov algoritam za pronalaženje prostog puta

Algoritam II - BFS algoritam za pretraživanje grafa

Algoritam III - DFS algoritam za pretraživanje grafa

Algoritam IV - Dijkstra algoritam za pronalaženje najkraćeg puta

Algoritam V – Kruskal algoritam za pronalaženje MST-a

Algoritam VI – Primov (PFS) algoritam za pronalaženje MST-a

Algoritam VII –pronalaženje minimalnog preseka (Min-Cut) u grafu

Algoritam VIII - Topološko sortiranje DAG-a

Algoritam IX - Pronalaženje SCC komponenti u digrafu

Algoritam X - Ford-Fulkerson-ov algoritam za pronalaženje maksimalnog protoka

SPISAK SLIKA

- Slika 1–1. Primer grafa u hidrotehnici: kanalizaciona mreža naselja Mirijevo u Beogradu
- Slika 1–2. Model relacione baze podataka za čuvanje vremenskih serija
- Slika 1–3. Shematski prikaz grafa sa 7 čvorova i 9 veza
- Slika 1–4. Shematski prikaz grafa sa paralelnim i cikličnim vezama
- Slika 1–5. Shematski prikaz kompletnog grafa sa 1 do 8 čvorova
- Slika 1–6. Primer proste i ciklične putanje
- Slika 1–7. Primer grafa koji nema Euler-ov put
- Slika 1–8. Primer grafa koji se sastoji od tri maksimalno povezana pografa od kojih jedan ima granatu strukturu
- Slika 1–9. Primer jednog razapinjućeg stabla (ST) osnovnog grafa
- Slika 1–10. Primer osnovnog grafa sa 4 čvora i 4 veze koji ima 4 moguća razapinjuća stabla (ST)
- Slika 1–11. Primer digrafa sa 4 čvora i 5 orijentisanih veza
- Slika 1–12. Primer prostog grafa i matrice povezanosti
- Slika 1–13. Primer digrafa, matrice povezanosti A i matrice A^2 – putanje dužine 2 postoje između čvorova 1 i 3 i čvorova 4 i 3
- Slika 1–14. Primer digrafa, i matrice B koja prikazuje broj putanja između čvorova
- Slika 1–15. Primer čuvanja grafa preko lista povezanosti (susednosti)
- Slika 1–16. Primer čuvanja digrafa preko lista povezanosti (susednosti)
- Slika 2–1. Primena Moore-ovog algoritma za pronalaženje prostog puta
- Slika 2–2. Matrica susednosti A i matrica A^3 za graf iz prethodnog primera
- Slika 2–3. Primer primene BFS algoritma za pretraživanje grafa
- Slika 2–4. Primer primene DFS algoritma za pretraživanje grafa
- Slika 2–5. Razapinjuće stablo ST, kao rezultat primene algoritma BFS (levo) i DFS (desno)
- Slika 2–6. Primer primene algoritma DFS za pronalaženje 4 povezana pografa osnovnog grafa
- Slika 2–7. Primer primene algoritma DFS za pronalaženje prostog puta između čvorova 4 i 6
- Slika 2–8. Primer primene algoritma DFS za pronalaženje prstena C_{35}

- Slika 2–9. Primer povezanog grafa u kome postoji jedan most i četiri razdelna čvora
- Slika 2–10. Primer primene algoritma DFS za pronalaženje mostova u grafu
- Slika 2–11. Primer primene algoritma DFS za pronalaženje razdelnog čvora
- Slika 3–1. Princip dekompozicije
- Slika 3–2. Shematski primer vodovodne mreže
- Slika 3–3. Prikaz dekompozicije glavne komponente mreže (M)
- Slika 3–4. Prikaz rezultata algoritma za izdvajanje prstenastih delova mreže
- Slika 3–5. Primer hidrauličkog proračuna kod granate mreže pod pritiskom
- Slika 3–6. Primer hidrauličkog proračuna kod prstenaste mreže pod pritiskom
- Slika 4–1. Primer Bellman-ovog principa optimalnosti
- Slika 4–2. Primer koraka primene algoritma Dijkstra
- Slika 4–3 Primer proračuna broja razapinjućih stabala N_{st}
- Slika 4–4 Primer primene Kruskal-ovog algoritma za formiranje minimalnog razapinjućeg stabla
- Slika 4–5. Primer primene Prim-ovog algoritma za formiranje
- Slika 4–6. Primer vodovodne mreže, koja je minimalnim presekom (Min-Cut) podeljena na dva dela
- Slika 4–7. Primer grafa podeljenog minimalnim presekom na dve komponente
- Slika 4–8. Primer pronalaženja minimalnog preseka jednostavnog težinskog grafa korišćenjem Fiedler-ovog sopstvenog vektora
- Slika 5–1. Shematski prikaz mreže sa 98 potrošačkih i 2 izvorna čvora koji su spojeni sa 231 realnih alternativnih veza
- Slika 5–2. Prikaz podataka o čvorovima i vezama
- Slika 5–3. Rezultat primene Prim-ovog algoritma
- Slika 5–4. Primena PFS algoritma propagacijom iz fiktivnog čvora
- Slika 5–5. Rezultat primene algoritma za skeletonizaciju mreže
- Slika 5–6. Digitalni model terena u formi GRID-a - preuzeto iz
- Slika 5–7. Digitalni model terena u formi TIN-a
- Slika 5–8. Primena D8 algoritma za određivanje pravca tečanja u DTM-u koji je predstavljen u formi GRID-a

- Slika 5–9. Koraci algoritma za delineaciju: A) rasterizacija i utiskivanje mreže u DMT, B) propagacija primenom PFS algoritma i C) vektorizacija podslivova
- Slika 5–10. Algoritmi za delineaciju primenjene na TIN digitalnom modelu terena
- Slika 5–11. Delineacije primenom PFS algoritma nad Voronoi dijagramima
- Slika 6–1. Primer digrafa sa izvornim čvorovima, ponornim čvorovima i prstenovima
- Slika 6–2. Primer primene algoritma DFS na prikazanom digrafu
- Slika 6–3. Primer primene algoritma za toploško sortiranje DAG-a
- Slika 6–4. Primer koraka algoritama za identifikaciju SCC-a
- Slika 6–5. Primer digrafa koji je DAG sa definsanim kapacitetom veza
- Slika 6–6. Primer koraka algoritma za maksimizaciju protoka kroz mrežu
- Slika 6–7. Protok kroz mrežu u 3 različita preseka
- Slika 6–8. Primer koraka algoritma za maksimizaciju protoka kroz mrežu (levo) uvođenjem rezidualnih veza
- Slika 7–1. Shematski prikaz dela kanalizacione mreže i pripadajućeg slivnog područja
- Slika 7–2. Aerofoto snimak (2003.) sa granicom Plana detaljne regulacije naselja Šangaj
- Slika 7–3. Dispozicija kanalizacione mreže naselja Šangaj
- Slika 7–4. Jednostavan digraf sa 3 strogo povezane komponente (SCC)
- Slika 7–5. Ilustracija koraka 3: topološko sortiranje i agregacija
- Slika 7–6. Primer realne vodovodne mreže nad kojom će se primeniti opisani algoritam za klasterizaciju
- Slika 7–7. Rezultati primene algoritma za klasterizaciju
- Slika 7–8. Trougaona funkcija veličine klastera
- Slika 7–9. Promena vrednosti indeksa uniformnosti u procesu agregacije SCC komponenti

Predgovor

Knjiga „Primena grafova u Hidroinformatici“ sumira dugogodišnja iskustva autora u razvoju i primeni algoritama iz oblasti Hidroinformatike, stečena u brojnim naučnim i stručnim projektima kao i u procesu pripreme i izvođenja nastave na master i doktorskim studijama na Građevinskom fakultetu. Knjiga je namenjena prvenstveno istraživačima i studentima master i doktorskih studija na Građevinskom fakultetu, ali i inženjerima koji se bave problemima analize i modeliranja složenih mrežnih sistema u hidrotehnici. Iako se knjiga može koristiti kao nastavni materijal na doktorskim i master studijama, ona je pre zamišljena i realizovana kao monografija autora.

Razvoj i primena algoritama za analizu, dekompoziciju i agregaciju složenih grafova, sve više dobija na značaju sa neprekidnim porastom fonda geoprostornih podataka koji se prikupljaju i čine da mreže postaju sve složenije. Ove analize se u modernoj literaturi nazivaju “graph mining”.

Problematika razvoja i primene algoritma iz oblasti grafova u hidroinformatici je podeljena u sedam poglavlja. Osim prvog, uvodnog poglavlja, u kome se objašnjavaju osnovni pojmovi iz oblasti grafova, ostala poglavlja su podeljena po oblastima i svaka oblast je praćena poglavljem koje se odnosi na primenu u hidrotehnici. Tako se u drugom poglavlju objašnjavaju i generalizuju osnovni algoritmi iz oblasti pretraživanje grafova, a u trećem poglavlju se objašnjava kako se dodatnim razvojem i nadogradnjom ovih algoritama mogu rešavati specifični zadaci iz oblasti mreža pod pritiskom. Četvrto poglavlje se bavi težinskim grafovima i osnovnim algoritmima koji su iz domena kombinatorne optimizacije: pronalaženje najkraćeg puta, minimalnog razapinjućeg stabla i minimalnog preseka. Nadogradnjom osnovnih algoritama, dobijaju se algoritmi koji imaju značajnu primenu u hidrotehnici, što je prikazano u poglavlju 5. Šesto i sedmo poglavlje su posvećeni orijentisanim grafovima (digrafima) koji su veoma značajna struktura za primenu u hidrotehnici, obzirom da je prirodna orijentacija veze u pravcu toka vode. Osnovni algoritmi vezani za digrafe: topološko sortiranje, pronalaženje strogo povezanih komponenti i pronalaženje maksimalnog protoka kroz mrežu su prikazani u poglavlju 6. Nadogradnja osnovnih algoritama iz oblasti orijentisanih grafova i primena u hidrotehnici, prikazani su u poglavlju 7, koje se bavi specifičnim i važnim problemom klasterizacije mreža pod pritiskom.

Autor se zahvaljuje recenzentima, a posebno profesoru Dušanu Prodanoviću, na detaljnom čitanju, korekcijama teksta i korisnim sugestijama za unapređenje strukture knjige. Zahvalnost za pomoć u relizaciji knjige ide i neformalnom recenzentu, kolegi dr Željku Vasiliću koji je, pored ostalog, zaslužan za to što se u razvoju Hidroinformatike na Građevinskom fakultetu, iz prostora primene algoritama iz oblasti teorije grafova, otišlo duboko u pravcu naučnog istraživanja i razvoja.