

PRIMENA METODA ZA ANALIZU SOCIJALNIH MREŽA NA MODELIRANJE LINIJA GRADSKOG PREVOZA U BEOGRADU

Kristijan Žiža¹, Dragana Milovančević², Marko Mišić³, Jelica Protić⁴

^{1,2,3,4}Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Beograd, Republika Srbija

¹ziza@etf.bg.ac.rs, ²dragana.m@etf.bg.ac.rs, ³marko.misic@etf.bg.ac.rs, ⁴jelica.protic@etf.bg.ac.rs

Kratak sadržaj: Ovaj rad se bavi analizom mreže gradskog saobraćaja u gradu Beogradu. Rad je nastao u okviru novouvedenog predmeta na master studijama Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu koji se bavi analizom socijalnih mreža, a cilj rada je da se metode i parametri za analizu socijalnih mreža primene na mrežu javnog gradskog prevoza, kao i da se primene odgovarajuće tehnike za vizuelizaciju ovakvih mreža. Takođe, rad ima i edukativni značaj, jer prikazuje problem koji je blizak širem auditorijumu i biće korišćen kao studija slučaja na novouvedenom predmetu. Na ovom primeru se mogu videti sve faze koje je potrebno proći prilikom analize mreže, od faze prikupljanja podataka, preko načina modeliranja problema, primene odabranih metoda za analizu, vizuelizacije i izvođenja relevantnih zaključaka.

Ključne reči: analiza socijalnih mreža, gradski saobraćaj, vizuelizacija

APPLYING SOCIAL NETWORK ANALYSIS METHODS ON THE MODELING OF METROPOLITAN TRANSPORT LINES IN BELGRADE

Abstract: This paper is dedicated to the analysis of the public transport network in the city of Belgrade, Serbia. The research was conducted for the newly introduced course within the master curriculum at the School of Electrical Engineering, University of Belgrade. The goal of the paper is to show the application of the methods and parameters, commonly used in the analysis of social networks, to the public transport network, and to apply appropriate techniques for visualization of such networks. This work is also educationally relevant, as it presents a problem that is comprehensive to the wider audience and suitable for use as a case study in the newly introduced master course. In this example, one can see all the steps that should be taken during the analysis of the network, starting from the data collection phase, through the problem modeling, the application of the selected methods for analysis, visualization, and drawing of relevant conclusions.

Key Words: social networks analysis, public transport networks, visualization

1. UVOD

Gradski saobraćaj predstavlja veoma važnu komponentu jednog velikog grada, te je od izuzetnog značaja njegova analiza i optimizacija, o čemu govori i sve veći broj naučnih radova napisanih na tu temu [1][2]. Na transportnu mrežu jednog grada uobičajeno utiče veći broj faktora, kao što su geografija, istorijsko nasleđe, ekonomski, kulturni i socijalni razlozi. Stoga se velika pažnja posvećuje planiranju saobraćajne mreže, kako bi njeno širenje na kvalitetan način odgovorilo potrebama stanovnika. U okviru ovog rada je analizirana mreža javnog gradskog prevoza na teritoriji grada Beograda, kako bi se kroz odgovarajuće modele izvršio uvid u stanje mreže, odredile najvažnije linije i stajališta po različitim mrežnim parametrima i ukazalo na eventualne strukturne slabosti same mreže [3]. Mreža javnog gradskog prevoza je modelirana korišćenjem grafa.

Rad je nastao u okviru novouvedenog predmeta na master studijama Elektrotehničkog fakulteta Univerziteta u Beogradu koji se prvenstveno bavi analizom socijalnih mreža. Socijalne i transportne mreže dele određene karakteristike, jer su nastale delovanjem ljudi. Pre svega, u literaturi je pokazano da oba tipa mreža pripadaju klasi tzv. *scale-free* mreža i da se uklapaju u modele malog sveta [3]. S obzirom na dobro poznate tehnike i metrike iz domena analize socijalnih mreža, jedan od ciljeva rada je primena ovih metoda i parametara na mrežu javnog gradskog prevoza, kao i da se primene odgovarajuće tehnike za vizuelizaciju. Parametri analize koji su od najvećeg značaja za ovaj tip mreža su osnovne mrežne metrike, poput prosečnih distanci, dijametra, koeficijenta klasterizacije, ali i različite mere centralnosti kojima se određuju ključne linije i stajališta u gradu, te je njihovom proračunu i analizi dobijenih vrednosti posebno posvećena pažnja. Za vizuelizaciju i izračunavanje potrebnih parametara, koji predstavljaju rezultat ovog rada, korišćen je alat Gephi [4].

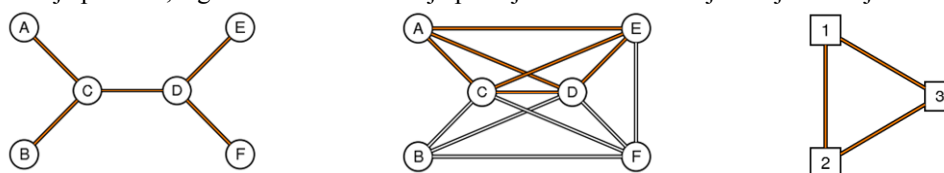
Rad poseduje i izvestan edukativni značaj, jer prikazuje problem koji je blizak širem auditorijumu i biće korišćen kao studija slučaja na novouvedenom predmetu. Na ovom primeru se mogu videti sve faze koje je potrebno proći prilikom analize mreže, od faze prikupljanja podataka, preko načina modeliranja problema, primene odabranih metoda za analizu, vizuelizacije i izvođenja relevantnih zaključaka.

Rad je podeljen na nekoliko poglavlja. U drugom poglavlju je opisan način prikupljanja i modelovanja podataka. U trećem poglavlju je izvršena analiza dobijene mreže, dok se u četvrtom poglavlju nalazi zaključak.

2. PRIKUPLJANJE I MODELOVANJE PODATAKA

Podaci o mreži javnog gradskog prevoza u gradu Beogradu potrebni za analizu prikupljeni su sa zvaničnog sajta javnog prevoza grada Beograda [5] pisanjem namenskog veb tragača napisanog na programskom jeziku Java. U postupku prikupljanja podataka od interesa su bili spisak linija i stajališta, pri čemu je za svaku liniju potrebno bilo utvrditi kroz koja stajališta prolazi, dok je za svako stajalište dodatno bilo potrebno utvrditi zonu u kojoj se nalazi, kao i tačnu lokaciju.

Analiza prikupljenih podataka zahteva njihovo posmatranje sa različitih stanovišta, te su u postupku pripreme podataka napravljena tri različita modela reprezentacije posmatrane mreže javnog prevoza (Slika 1). Mreža linija gradskog prevoza se uobičajeno modelira putem grafa, a postoji veći broj načina da se to učini, u zavisnosti od toga da li se čvorovima grafa modeliraju linije prevoza ili stajališta. U okviru ovog rada su korišćeni L-prostor, C-prostor i P-prostor modeli po ugledu na relevantne modele iz otvorene literature [1]. U L-prostor modelu čvorove grafa predstavljaju stajališta, a grane postoje između susednih stajališta povezanih nekom od linija. Kod ovakve reprezentacije mreže gradskog prevoza gube se sve informacije o linijama koje postoje, te je nemoguće na osnovu ovog modela odrediti neke parametre, kao što je npr. prosečan broj presedanja između dva stajališta. P-prostor predstavlja proširenje L-prostora kod koga grane postoje i između stajališta koja nisu susedna, ali su povezana direktno nekom linijom. Ovaj model donosi nove informacije u odnosu na L-model, ali i dalje gubi bilo kakvu informaciju o postojanju linija, te je za analizu koja uključuje i linije kreiran C-prostor model kod koga čvorove predstavljaju linije prevoza, a grana između dve linije postoji ukoliko one imaju bar jedno zajedničko stajalište.



Slika 4. Primer različitih modela mreže: L-prostor, C-prostor i P-prostor [1]

U postupku vizuelizacije generisanih grafova uočeno je nekoliko problema koji su dalju analizu zaustavili i zahtevali određene promene u modelovanju mreže. Prvi uočeni problem jeste postojanje dva smera kretanja linije. Zanimarivanjem ove činjenice dobija se graf koji za svaku liniju ima dve nepovezane komponente. Kako bi se ovaj problem rešio i za svaku liniju dobila samo jedna povezana komponenta izvršeno je spajanje krajnjeg stajališta jednog smera sa početnim stajalištem drugog smera za svaku liniju. Pored toga, stajališta istog naziva kroz koja prolazi jedna linija u oba smera su prividno spojena u jedno radi pravilnije vizuelizacije. Drugi uočeni problem jeste nemogućnost uočavanja da se dve linije seku ukoliko one nemaju zajedničko stajalište. Ovaj problem je najviše izražen kod tramvajskih linija kod kojih se stajališta koriste samo za tramvajski saobraćaj, jer tramvaji u većem delu grada idu sredinom ulice. Takva stajališta ostaju nepovezana sa ostalim linijama i nepravedno dobijaju manji značaj, iako u realnosti u blizini većeg broja tramvajskih stajališta postoje i autobuska stajališta koja omogućavaju presedanje. Rešenje ovog problema ponovo se ogleda u prividnom spajanju svih stajališta koja se nalaze u blizini.

3. ALATI, ALGORITMI I PARAMETRI ANALIZE

Na teritoriji grada Beograda postoji 93 linija gradskog saobraćaja u prvoj i drugoj zoni i 1665 stajališta. Nakon prikupljanja, filtriranja i dodatnih obrada podataka generisani su grafovi po L, P i C modelu. Generisani grafovi su zatim vizuelizovani pomoću alata Gephi i sprovedena je analiza svakog od modela pojedinačno. Od parametara koji se koriste u analizi socijalnih mreža korišćeni su: prosečan i maksimalan stepen čvora, prečnik (dijametar) mreže, grustina grafa, prosečan koeficijent klasterizacije, prosečna dužina putanje i drugi. Vrednosti parametara za svaki od modela su predstavljene u Tabeli 1.

Tabela 6. Parametri analize raličitih modela

Model	Broj čvorova	Broj grana	Prosečan stepen čvora	Maksimalan stepen čvora	Prečnik mreže	Gustina grafa	Prosečan koeficijent klasterizacije	Prosečna dužina putanje
L	1665	4258	2.557	24	61	0.002	0.078	19.387
P	1665	46646	28.016	227	9	0.017	0.337	3.616
C	93	1467	31.548	54	3	0.343	0.616	1.669

Broj čvorova kod L i P modela prestavlja broj stajališta koji za anlizirani skup od 93 linije, što prestavlja broj čvorova u C modelu, iznosi 1665. Izdvojeni skup linija prestavlja samo gradske linije koje saobraćaju u prvoj i drugoj zoni, te se time obuhvataju samo stajališta kroz koja ove linije i prolaze. Broj grana kod L modela određuje koliko stajališta je direktno povezano, dok kod P modela taj broj pokazuje koliko stajališta je povezano nekom od linija, ne obavezno direktno, te je taj broj očekivano značajno veći.

Stepen čvora pokazuje sa koliko drugih čvorova je zadati čvor povezan i predstavlja jedan od interesantnijih parametara u ovoj analizi, jer se upravo na ovom parametru pokazuje značaj uvođenja različitih reprezentacija mreže. Naime, kod L modela stepen čvora pokazuje u koliko različitih smerova se kreću linije koje prolaze kroz zadato stajalište, tj. na koliko različitih stajališta je moguće doći koristeći bilo koju liniju koja prolazi kroz zadato stajalište vozeći se samo jednu stanicu. Pokazuje se da je za mrežu javnog prevoza grada Beograda ovaj parametar u proseku 2.557, dok maksimalnu vrednost od 24 dostiže u stajalištu Zeleni venac. Kod P modela ovaj parametar određuje sa koliko stajališta je zadato stajalište povezano direktno bilo kojom linijom, odnosno do koliko stajališta je moguće doći bez presedanja. Za posmatranu mrežu srednja vrednost ovog parametra je 28.016, dok maksimalnu vrednost od 227 ima za stajalište Brankov most. Kod C modela ovaj parametar određuje za svaku liniju sa koliko drugih linija ona ima zajednička stajališta. U proseku vrednost ovog parametra za grad Beograd je 31.548, a najviše zajedničkih stajališta sa drugim linijama imaju linije 74 i 23 i to ukupno sa 54 druge linije.

Gustina grafa je parametar koji iskazuje intenzitet povezanosti čvorova u grafu. Kod L i P modela se uočava veoma mali prosečan stepen čvora u odnosu na ukupan broj čvorova, te je gustina grafa kod ova dva modela veoma mala, dok je u slučaju C modela svaki čvor povezan u proseku sa oko 1/3 drugih čvorova, što i govori gustina grafa koja iznosi 0.343. Drugi interesantan parametar analize koji takođe prikazuje značaj postojanja različitih modela jeste prosečna dužina putanje, a uz nju i prečnik mreže kao najduže najkraće rastojanje između dva čvora. Kod L modela dužina putanje između dva čvora pokazuje koliko drugih stajališta je potrebno proći od početnog do krajnjeg stajališta, pri čemu kod ovog modela ovaj parametar izuzima iz analize postojanje linija i potrebu za presedanjem. Prosečna vrednost ovog parametra za javni prevoz Beograda iznosi 19.387, dok maksimalna vrednost od 61 pokazuje da je za putovanje između dva najudaljenija stajališta u gradu potrebno preći 59 stajališta. P model kod ovog parametra pokazuje koliko je puta potrebno presedati da bi se došlo od jednog do drugog stajališta, što je prema rezultatima analize u Beogradu potrebno u proseku uraditi 2.616 puta, a u najgorem slučaju čak 8 puta. Kod C modela ovaj parametar pokazuje koliko puta je potrebno presedati da bi se od bilo kog stajališta kroz koje prolazi zadata linija došlo do bilo kog stajališta kroz koje prolazi neka druga linija. Za posmatranu mrežu je to potrebno učiniti u proseku 0.669 puta, tj. u najgorem slučaju 2 puta, što je i očekivano imajući u vidu veoma veliki prosečan stepen čvora grafa u ovom modelu.

Dalja analiza mreže usmerena je na mere centralnosti koje ističu koje ističu najznačajnije linije i stajališta u gradu. Od mera centralnosti koje se koriste u analizi socijalnih mreže korišćene su: centralnost po stepenu čvora (*degree centrality*), relaciona centralnost (*betweenness centrality*), centralnost po bliskosti (*closeness centrality*) i centralnost po svojstvenom vektoru (*eigenvector centrality*). U Tabeli 2. prikazane su vrednosti datih centralnosti za prvih 10 linija po relacionoj centralnosti u C modelu grafa. Relaciona centralnost je uzeta kao kriterijum, jer ona govori o broju najkraćih putanja između parova čvorova u grafu koje vode kroz neki posmatrani čvor. Primećuje se da su linije sa najvećom relacionom centralnošću veoma duge linije koje obilaze dosta delova grada i prolaze kroz najprometnije ulice, pa su samim tim ističu i kao veza između drugih linija. Takođe, u prvih 10 linija po relacionoj centralnosti nalaze se i dve tramvajske linije i to 12 i 3. Potrebno je naglasiti da se ove linije ne bi nalazile na ovoj listi da njihova stajališta nisu prividno spojena sa susednim stajalištima autobuskih linija koje idu istom rutom. Kao interesantna činjenica ističe se i to da se među najcentralnijim linijama nalaze i linije 74, 12, EKO1 i 3 koje su sve ili skoro uvedene ili menjale svoju trasu, što se pokazuje kao dobar potez u optimizaciji mreže javnog prevoza u gradu.

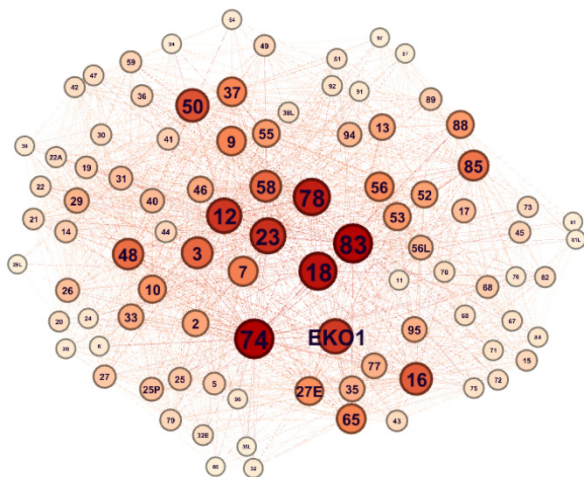
Tabela 7. Centralnosti prvih 10 linija sa najvećom relacionom centralnošću u C modelu grafa

Broj linije	Linija	Centralnost po stepenu	Relaciona centralnost	Centralnost po bliskosti	Centralnost po svojstvenom vektoru
74	Bežanijska kosa – Mirijevo 3	54	119.2818	0.7077	0.9856
83	Crveni Krst – Zemun /Bačka/	46	116.8695	0.6667	0.8155
18	Medaković 3 – Zemun /Bačka/	38	110.9448	0.6301	0.5963
78	Banjica 2 – Zemun /Novi Grad/	49	106.5932	0.6815	0.8804
23	Karaburma 2 - Vidikovac	54	99.1940	0.7077	1.0000
12	Omladinski stadion – Banovo brdo	53	95.8350	0.7023	0.9887
EKO1	Vukov spomenik – Naselje Belvil	48	94.3696	0.6765	0.8534
50	Ustanička – Banovo brdo	40	83.9696	0.6389	0.6808
16	Karaburma 2 – NBG /Paviljoni/	43	79.3507	0.6479	0.7362
3	Omladinski stadion - Kneževac	48	75.2390	0.6765	0.9012

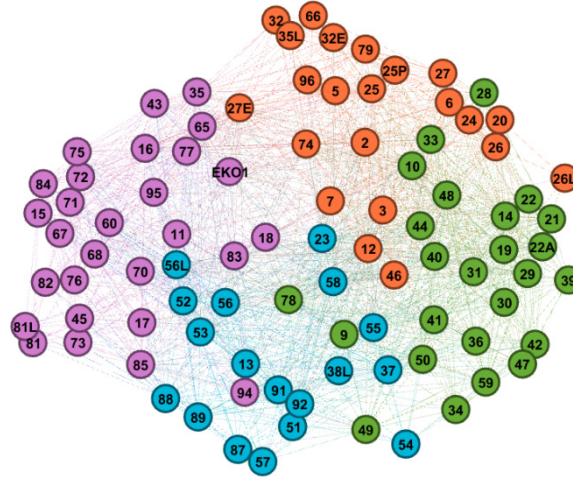
Mere centralnosti kod L modela grafa ističu kao glavna čvorišta u gradu sledeća stajališta: Sajam, Mostar, Sava centar, Franše Deperea, Brankov most, Zeleni venac, Deligradska (Trg Slavija), itd. I pored toga što ovaj model zanemaruje postojanje linija i dva stajališta povezuje bez obzira koliko linija ih povezuje, pokazuje se da se kao centralni čvorovi u ovom modelu javljaju stajališta kroz koja prolazi veoma veliki broj linija. Takođe, sva navedena stajališta se nalaze u centralnim delovima grada, koncentrisana oko autoputa ili u blizini mostova. P model ukazuje

na koja je sve stajališta moguće doći iz posmatranog bez presedanja, ali za razliku od L modela, uz vožnju proizvoljan broj stanica, a ne samo jednu. Kod ovog modela kao centralna stajališta javljaju se: Karadorđev park, Banovo brdo, Brankov most, Sajam, Pionirski park, Trg Slavija, itd. Primećuje se da određena stajališta imaju veoma veliku centralnost i po L i po P modelu, međutim njihov redosled se menja u zavisnosti od broja i trasa linija koje kroz njih prolaze.

Na Slici 2. prikazane su sve posmatrane linije u C modelu grafa. Većim čvorovima i oznakom su prikazane linije sa većom relacionom centralnošću. Vizuelizacija je izvršena korišćenjem alata Gephi. Iskorišćene su mogućnosti alata da izračuna centralnosti čvorova u grafu i na osnovu njih rasporedi čvorove u grafu i naglasi najcentralnije. Pored toga, za posmatrane linije je korišćenjem alata izračunata i modularnost. Rezultati analize pokazuju podelu linija u četiri klastera, koji su prikazani na Slici 3. Četiri klastera predstavljaju podelu grada na četiri dela od čega jedan deo predstavlja Novi Beograd i Zemun, drugi deo severni, treći centralni, a četvrti južni deo grada. Kao očekivan rezultat skoro sve tramvajske linije su smeštene u jedan i to centralni klaster.



Slika 2. C-prostor model sa prikazanim izraženim brojevima linija po relacionoj centralnosti



Slika 3. C-prostor model sa podelom linija na četiri klastera

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu pokazan je primer primene algoritama i parametara analize socijalnih mreža na mrežu gradskog prevoza jednog grada. Opisan je način prikupljanja podataka i modelovanja problema kroz odgovarajuće mrežne modele, a zatim izvršena analiza dobijenih mreža. Sprovedena analiza pokazuje da se najznačajnija stajališta nalaze u centralnim delovima grada, u blizini mostova, a da su linije sa najvećom centralnošću one koje su novouvedene ili su pretrpele određene izmene u poslednje vreme. To govori o poboljšanom planiranju transportne mreže u poslednjih nekoliko godina. Analiza mreže javnog prevoza u okviru ovog rada otvorila je i brojna pitanja i moguće probleme koji mogu biti predmet daljeg istraživanja. Neki od mogućih problema su analiza povezanosti delova grada linijama gradskog prevoza, pronalaženje najbrže putanje između dve lokacije u gradu, generisanje predloga za ukidanje ili uvođenje novih linija, smanjenja broja presedanja i sl. U tom smislu, mrežna nauka kroz odgovarajuće metode i metrike može biti značajan alat prilikom planiranja izmena u mreži gradskog saobraćaja. Tome bi svakako doprinelo i proširenje modela mreže podacima o broju putnika na pojedinim linijama.

5. LITERATURA

- [1] Von Ferber C., Holovatch T., Holovatch Y., Palchykov, V., *Public transport networks: empirical analysis and modeling*, The European Physical Journal B-Condensed Matter and Complex Systems, 68(2), 2009., pp. 261-275.
- [2] Sienkiewicz J., Hołyst J. A., *Statistical analysis of 22 public transport networks in Poland*, Physical Review E, 72(4), 2005., pp. 046127.
- [3] Derrible S., Kennedy C., *The complexity and robustness of metro networks*, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 389(17), 2010., pp. 3678-3691.
- [4] M. Bastian, S. Heymann, M. Jacomy, *Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks*, Icwsm 8, 2009., pp. 361-362.
- [5] Sekretarija za javni prevoz Gradske uprave grada Beograda, <http://bgprevoz.rs/>