

Analiza socijalnih mreža

Transportne mreže

Marko Mišić, Jasmin Kriještorac

13M111ASM

2022/2023.

Uvod

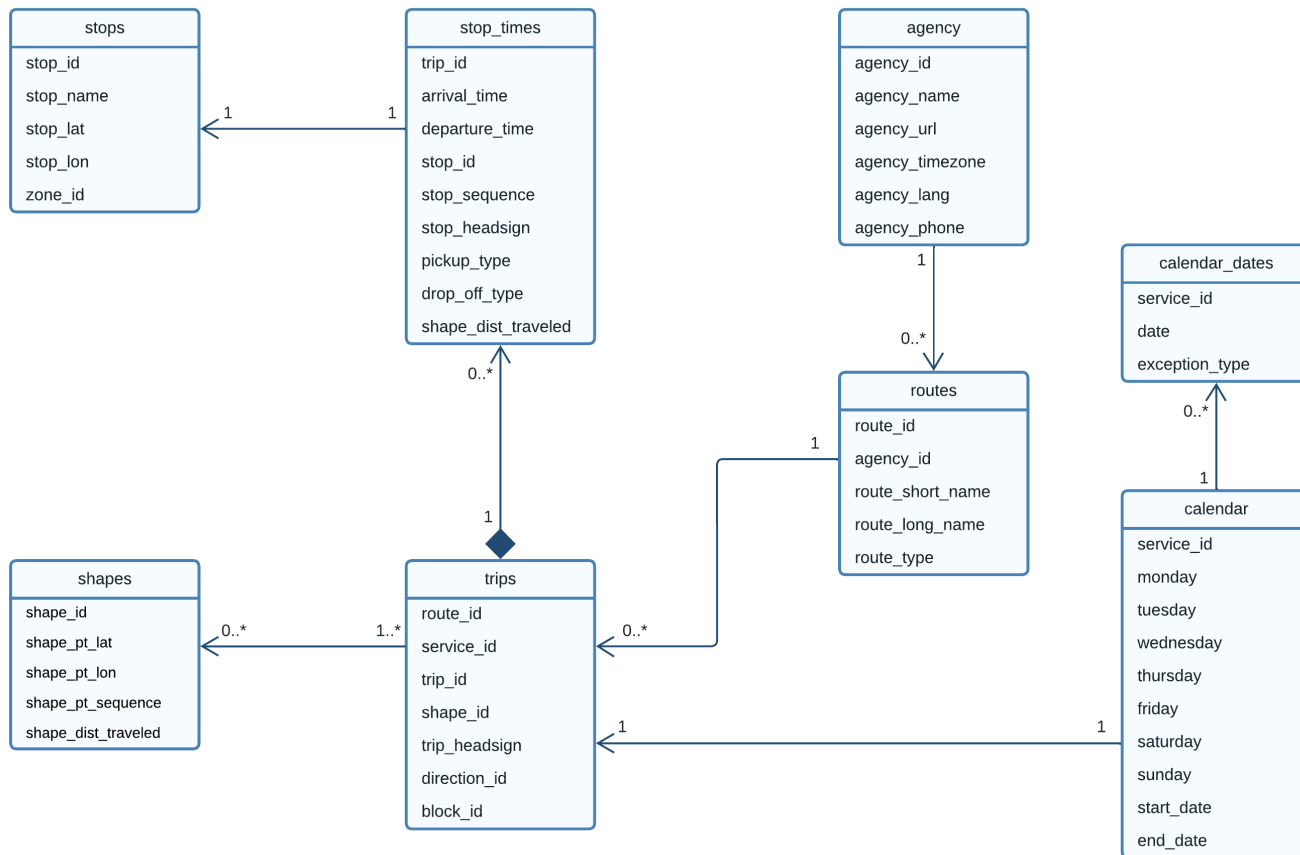
- Javni gradski saobraćaj predstavlja veoma važnu komponentu jednog velikog grada
- Niz uticaja na formiranje mreže
 - Geografija, istorijsko nasleđe, ekonomski, kulturni i socijalni razlozi
- Može se posmatrati kao jedna kompleksna mreža
- Značajno je njegovo planiranje, analiza i optimizacija
 - Kako bi se poboljšao kvalitet života stanovništva

Skupovi podataka za analizu (1)

- GTFS (engl. *General Transit Feed Specification*)
 - Najpopularniji format (Google 2005) u CSV obliku
 - Prikazivanje rasporeda javnog saobraćaja i odgovarajućih geografskih informacija
- Podaci operatera javnog gradskog saobraćaja
 - Sekretarijat za javni prevoz Gradske uprave grada Beograda
 - <http://bgprevoz.rs/>
- Otvoreni podaci
 - Portal otvorenih podataka Republike Srbije, GTFS
 - <https://data.gov.rs/sr/datasets/gtfs/>

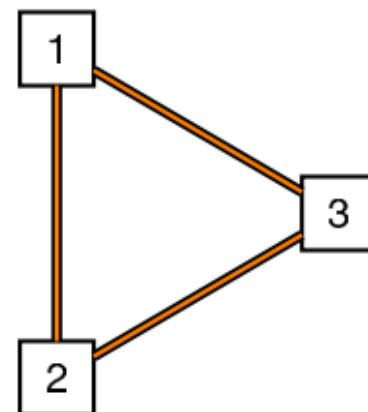
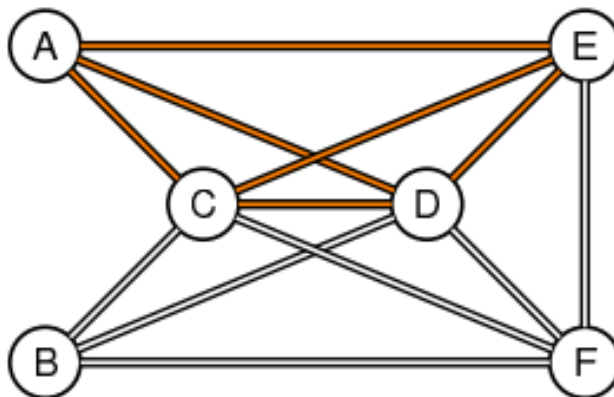
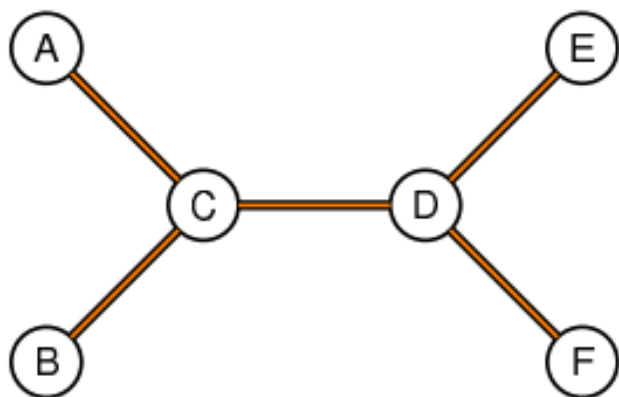
Skupovi podataka za analizu (2)

- GTFS dijagram tabela
 - Minimalni, obavezni format



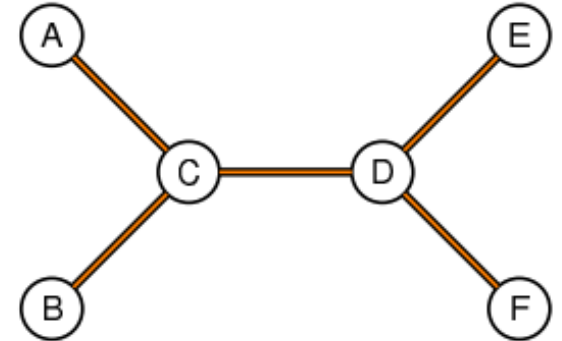
Modeliranje mreže (1)

- Uobičajeni način modeliranja putem grafa
 - Čvorovi su linije ili stajališta
 - Tipično neusmeren graf
- Veći broj načina da se to učini
 - L-prostor, B-prostor, P-prostor, C-prostor



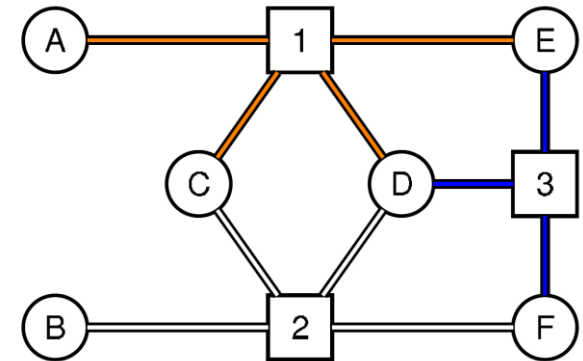
Modeliranje mreže (2)

- L - prostor model
 - Čvorovi predstavljaju stajališta
 - Grana postoji između čvorova ukoliko bar jedna linija sukcesivno prolazi kroz oba stajališta (čvora)
- Interpretacija L - prostor modela u kontekstu stajališta
 - Informacije o linijama se gube
- Prosečna dužina najkraćih rastojanja
 - Koliko se u proseku prolazi stanica na putu između dva stajališta
- Stepen čvora
 - Broj pravaca u kojima neko može da se kreće koristeći javni prevoz



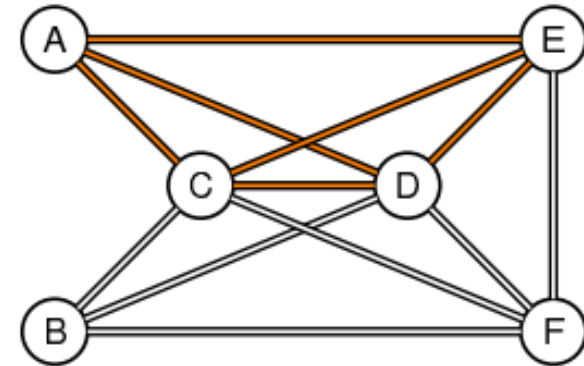
Modeliranje mreže (3)

- B - prostor model
 - Bipartitni graf
 - Čvorovi predstavljaju stajališta i linije
 - Svaka linija je povezana sa svim stajalištima kroz koje prolazi
 - Nema direktnih veza između čvorova istog tipa
 - Susedi neke linije su sva stajališta kroz koja ona prolazi
 - Susedi nekog stajališta su sve linije koje prolaze kroz njega
- Interpretacija kroz projekcije
 - P – prostor je projekcija na skup stajališta
 - C – prostor je projekcija na skup linija



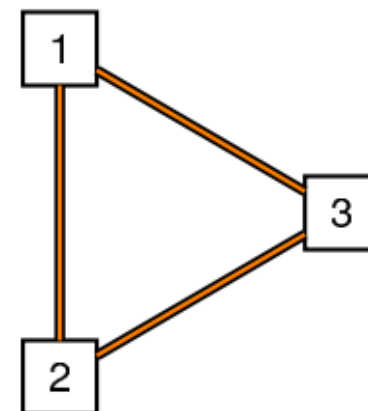
Modeliranje mreže (4)

- P - prostor model
 - Čvorovi – stajališta
 - Grana postoji između čvorova ukoliko bar jedna linija prolazi kroz oba čvora
 - Ne mora sukcesivno
 - Svaka linija proizvodi po jedan kompletan podgraf
- Prosečna dužina najkraćih rastojanja
 - Prosečan broj presedanja koje neko treba da izvede da bi promenio svoju rutu i prešao na drugu
- Stepen čvora
 - Definiše do koliko različitih stajališta je moguće stići bez promene rute odnosno linije



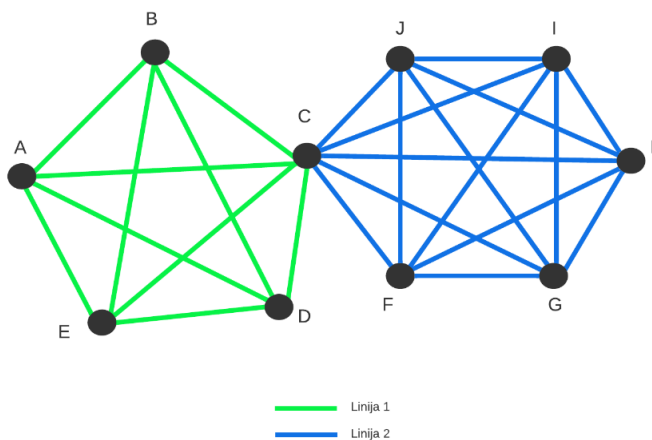
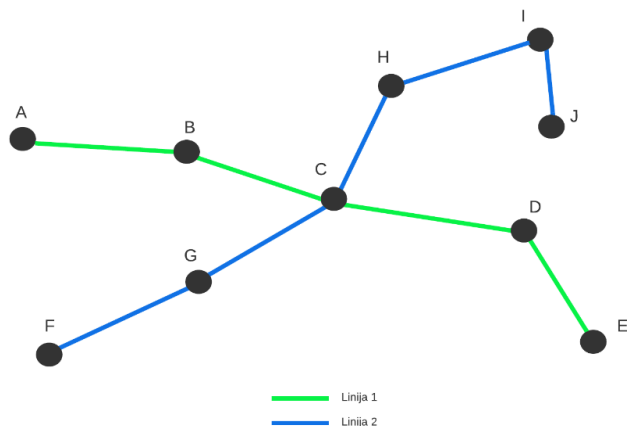
Modeliranje mreže (5)

- C – prostor model
 - Čvorovi predstavljaju linije
 - Grana između dva čvora postoji ukoliko odgovarajuće linije imaju bar jednu zajedničku stanicu
- Prosečna dužina najkraćih rastojanja
 - Govori koliko u proseku iznosi broj presedanja između različitih linija
- Stepena čvora
 - Na koliko drugih linija je moguće presedanje sa data linije



Primer modeliranja mreže

- Primer mreže sa dve linije
 - L-prostor, P-prostor, C-prostor



Mrežne metrike

- Osnovne mrežne metrike
 - Prosečne distance, dijametar, koeficijent klasterizacije
- Različite mere centralnosti
 - Određuju ključne linije i stajališta u gradu
- Istraživanja pokazuju da transportne mreže:
 - Predstavljaju i *scale-free* mreže
 - Uklapaju se u model malog sveta

Primer – gradski prevoz u Beogradu (1)

- Analizirano u okviru rada:
 - Žiža, Milovačević, Mišić, Protić, TREND 2018
- Namenski veb tragač za prikupljanje podataka od interesa
 - Spisak linija i stajališta
 - Lista stajališta za svaku liniju
 - Informacije o zoni i lokaciji stajališta (prve dve zone)
- Sekretarijat za javni prevoz grada Beograda
 - www.bgprevoz.rs

Primer – gradski prevoz u Beogradu (2)

- Grafovska reprezentacija mreže linija gradskog prevoza
 - L-prostor, P-prostor i C-prostor modeli
- Problemi i izmene modela
- Dva smera kretanja linija
 - Graf sa dve nepovezane komponente za svaki smer kretanja
 - Rešenje u spajanju krajnjeg stajališta jednog smera sa početnim stajalištem drugog smera za svaku liniju

Primer – gradski prevoz u Beogradu (3)

- Problemi ukrštanja linija koje nemaju zajedničko stajalište
 - Tramvajski saobraćaj, pojedine autobuske linije
 - Nepovezana stajališta koja dobijaju manji značaj
 - Rešenje u prividnom spajanju stajališta u blizini
- Problemi vizuelizacije
 - Stajališta istog naziva kroz koja prolazi jedna linija u oba smera su prividno spojena u jedno radi pravilnije vizuelizacije

Primer – gradski prevoz u Beogradu (4)

- Osnovna svojstva mreže
- L – prostor model
 - Zeleni venac najistaknutiji čvor (stajalište)
- P – prostor model
 - Brankov most najistaknutiji čvor (stajalište)
- C – prostor model
 - Linije 74 i 23 imaju najviše zajedničkih stajališta sa drugim linijama

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

Primer – gradski prevoz u Beogradu (4)

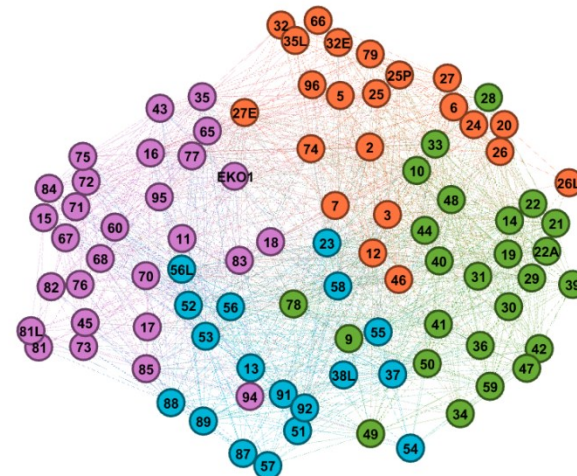
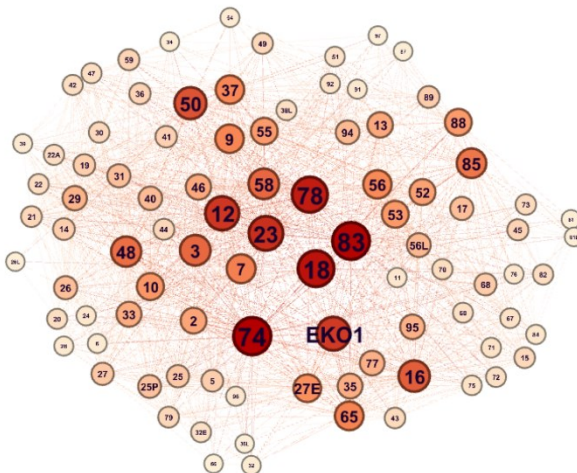
- Mere centralnosti u C – prostor modelu
 - Dobar geografski položaj istaknutih stajališta
 - Značaj novouvedenih linija govori o dobrom planiranju

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
EKO 1	Vukov spomenik – Naselje Belvil	48	94.3696	0.6765	0.8534

Primer – gradski prevoz u Beogradu (5)

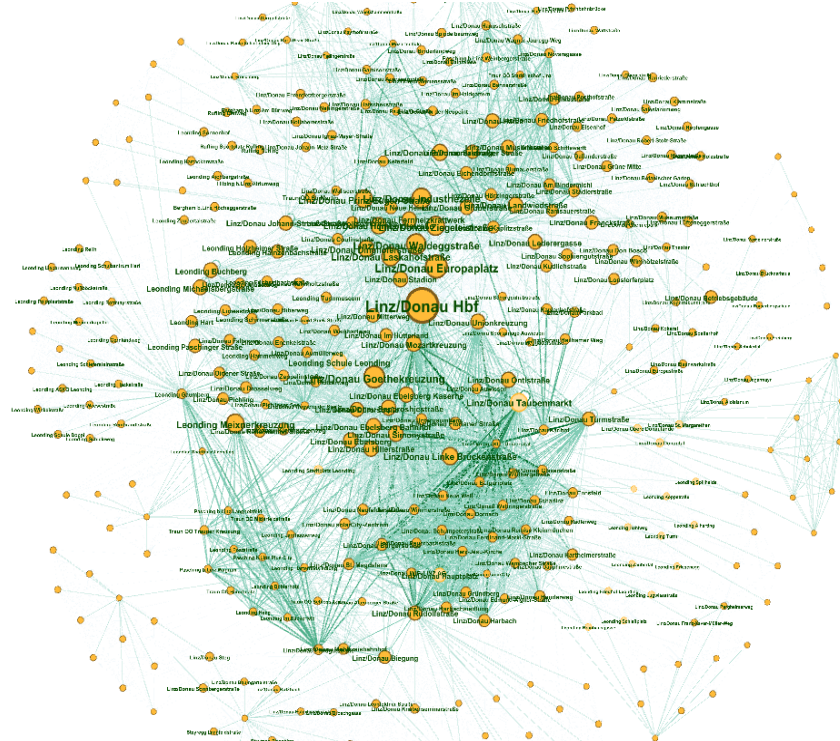
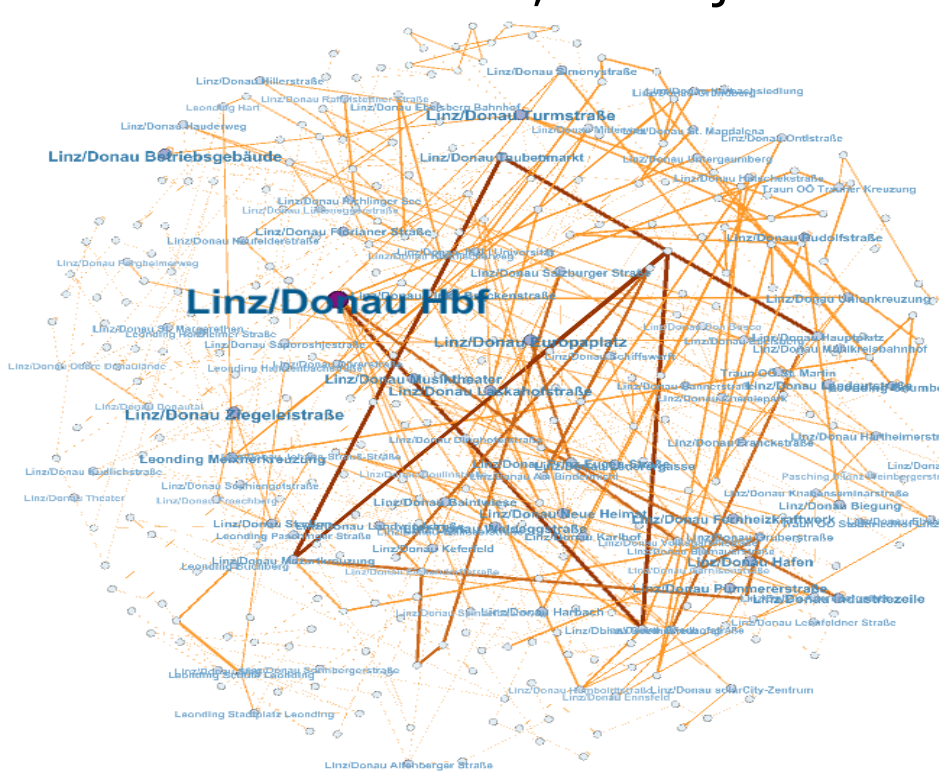
○ Vizuelizacija

- C-prostor model sa prikazanim izraženim brojevima linija po relacionoj centralnosti
- C-prostor model sa podelom linija na četiri klastera



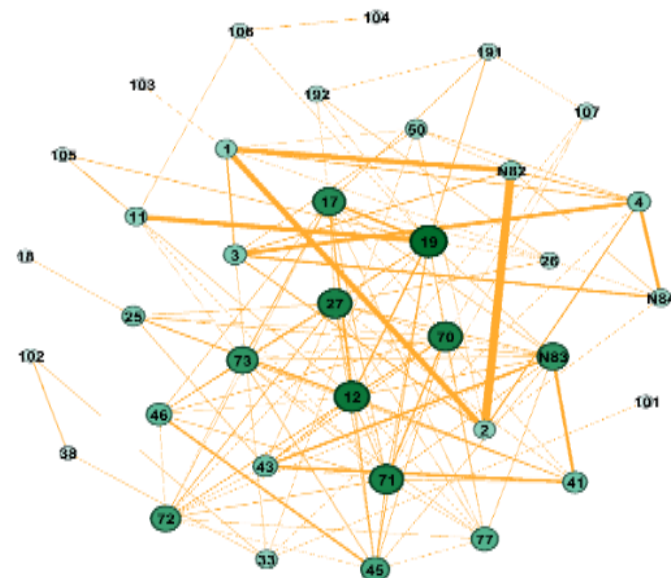
Primer – Linc i Gornja Austrija (1)

- Analiza kompleksne mreže sa fokusom na drumski javni prevoz uz poređenje javnog prevoza u Gornjoj Austriji i u gradu Lincu
 - Gornja Austrija: $\sim 12000 \text{ km}^2$, 1.412 miliona stanovnika
 - Linc: $\sim 100 \text{ km}^2$, 203 hiljade stanovnika



Primer – Linc i Gornja Austrija (2)

- Linc: 820 stajališta, 36 linije
 - Najduža linija je linija 19, koja prolazi kroz 54 stajališta
 - Ova linija ujedno ima i najveći stepen u C prostor modelu
- G. Austrija: 7945 stajališta, 462 linije
 - Najduža linija je linija 505, koja pristaje na 66 stanice
 - Linija 209 se ukršta sa najvećim brojem linija duž svoje rute



Primer – Linc i Gornja Austrija (3)

○ Linc

TIP MODELA	BROJ ČVOROVA	BROJ GRANA	PROSEČAN STEPEN ČVORA	MAKSIMALAN STEPEN ČVORA	PREČNIK MREŽE	GUSTINA GRAFA	PROSEČAN STEPEN KLASTERIZACIJE	PROSEČNA DUŽINA PUTANJE
L	820	998	2.434	8	51	0.003	0.046	16.057
P	820	28067	68.456	251	6	0.084	0.886	2.365
C	36	134	7.389	17	5	0.211	0.768	1.816

○ Gornja Austrija

TIP MODELA	BROJ ČVOROVA	BROJ GRANA	PROSEČAN STEPEN ČVORA	MAKSIMALAN STEPEN ČVORA	PREČNIK MREŽE	GUSTINA GRAFA	PROSEČAN STEPEN KLASTERIZACIJE	PROSEČNA DUŽINA PUTANJE
L	7945	10228	2.574	25	110	0.0003	0.057	29.42
P	7945	293557	73.897	1040	11	0.009	0.869	4.392
C	462	5211	22.554	88	10	0.049	0.703	3.647

- Prosečan stepen čvora i prosečan stepen klasterizacije su dosta slični skoro za sva tri tipa mrežnih modela

Primer – Linc i Gornja Austrija (4)

- Mreže javnog prevoza nisu preterano guste
 - Značajno manja gustina izražena je kod mrežnih modela koji se odnose na Gornju Austriju
- Za sva tri mrežna modela regiona Gornje Austrije prečnici mreža su približno duplo veći od odgovarajućih vrednosti za grad Linc
- Stepen čvorova ($P(k) \sim k^{-\alpha}$)
 - Linc
 - C prostor - *truncated power law* raspodela ($\alpha = 3.17, x_{min} = 6$)
 - P prostor - *truncated power law* raspodela ($\alpha = 5.02, x_{min} = 103$)
 - G. Austrija
 - P prostor - *power law* raspodela ($\alpha = 3.77$)

Primer – Linc i Gornja Austrija (5)

○ Koeficijenti asortativnost:

● G. Austrija

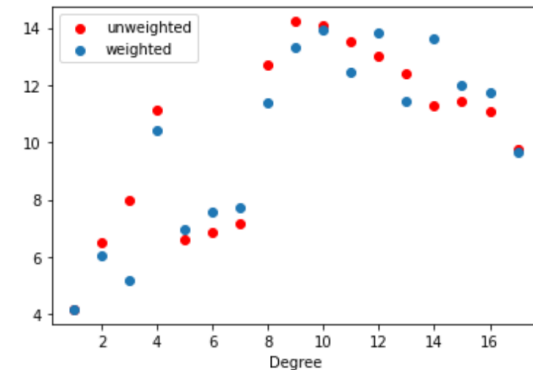
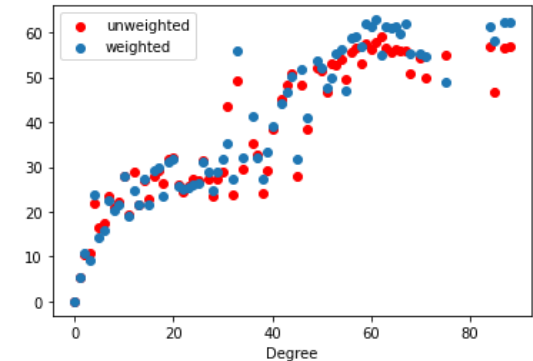
- C proctor, netežinski - 0.599, težinski – 0.554
- P prostor, netežinski – 0.314
- L prostor, netežinski – 0.028

● Linc

- C proctor, netežinski - 0.309, težinski – 0.062
- P prostor, netežinski – 0.283
- L prostor, netežinski – 0.268

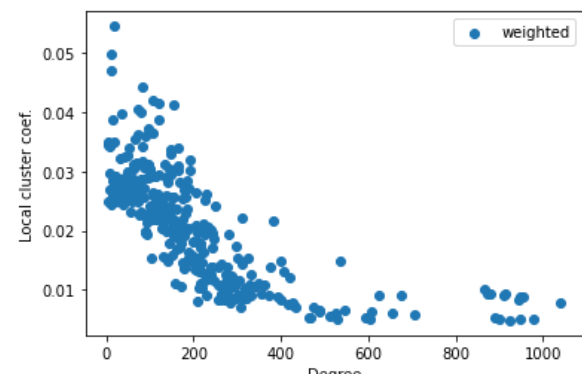
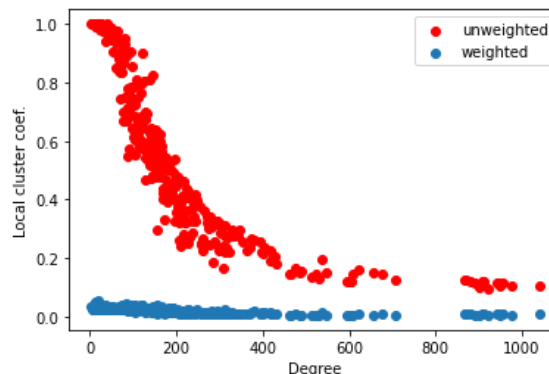
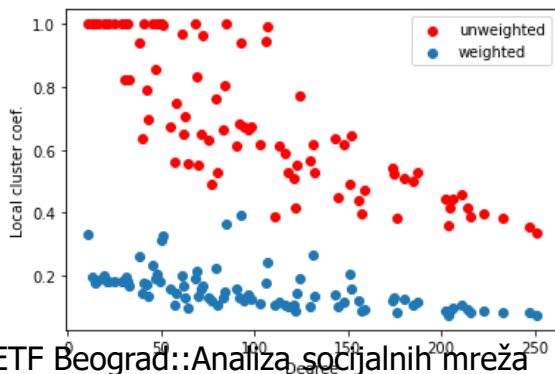
○ Veće asortativno mešanje u Gornjoj Austriji

- Ukoliko važi $k_{nn,i}^w > k_{nn,i}$, grane veće težine povezuju čvorove većeg stepena u C – prostor modelu



Primer – Linc i Gornja Austrija (6)

- Veliki stepen klasterizacije za ovakve tipove mreža je u skladu sa rezultatima iz otvorene literature
- Funkcija lokalnog koeficijenta klasterizacije, u zavisnosti od stepena čvora,
 - Predstavlja u manjoj ili većoj meri opadajuću krivu kod oba P – prostor modela
 - Čvorovi manjeg stepena nalaze u bolje povezanim komunama
 - Habovi (čvorovi većeg stepena) povezuju grupe koje nisu međusobno povezane



Primer – Linc i Gornja Austrija (7)

- Svojstvo malog sveta zastupljeno je kod P - prostor i C - prostor modela za oba skupa
 - Velika klasterizacija, male prosečne dužine puta
- Kod svih mrežnih modela kriva koja se odnosi na lokalni težinski koeficijent klasterizacije, daleko je ispod netežinske
 - Ovde nije prisutan fenomen kluba bogatih

Primer – Linc i Gornja Austrija (8)

- Linc, linija 19 koja je i najduža linija ima najveću relacionu centralnost
- Gornje Austrije, najduža linija, 505, zauzima treće mesto kada je u pitanju relaciona centralnost
- Ukoliko za iste čvorove upoređujemo ostale centralnosti, ostale centralnosti međusobno bolje korelisane nego u odnosu na relacionu centralnost

BROJ LINIJE	LINIJA	CENTRALNOST PO STEPENU	CENTRALNOST PO BLISKOSTI	RELACIONA CENTRALNOST	CENTRALNOST PO SVOJSTVENOM VEKTORU
19	Linz Fernheizkraftwerk - Linz Pichlinger See	0.4594	0.4765	0.1068	0.2813
33	Linz Riesenhof - Steyregg Pleschinger See	0.1621	0.1923	0.0390	0.00026
12	Linz Karlhof - Linz Auwiesen	0.4324	0.4612	0.0340	0.3042
25	Linz Karlhof - Linz Oed	0.1891	0.3177	0.0330	0.1284
106	Linz Florianer Straße - St.Florian Wambacherberg	0.081	0.2917	0.0330	0.0032

BROJ LINIJE	LINIJA	CENTRALNOST PO STEPENU	CENTRALNOST PO BLISKOSTI	RELACIONA CENTRALNOST	CENTRALNOST PO SVOJSTVENOM VEKTORU
609	Linz voest Alpine - Hörsching - Marchtrenk - Wels	0.1843	0.4255	0.2320	0.1162
506	Wels - Lambach - Schwanenstadt - Attnang-Puchheim	0.0802	0.3732	0.1300	0.00647
505	Lambach - Laakirchen - Gmunden - Altmünster - Ebensee - Bad Ischl	0.0607	0.3047	0.0829	0.0004
646	Wels - Krenglbach - Pichl b. Wels - Meggenhofen - Haag/H. - Ried/L.	0.1019	0.3669	0.06997	0.0068
600	Linz - Unionkreuzung - PlusCity - Hörsching - Marchtrenk - Wels Linz - PlusCity - Marchtrenk - Wels	0.0845	0.3784	0.0609	0.0132

Literatura

- Žiža K., Milovančević D., Mišić M., Protić J., Primena metoda za analizu socijalnih mreža na modeliranje linija gradskog prevoza u Beogradu, XXIV Skup TRENDOM RAZVOJA, pp. 102 - 105, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Kopaonik, Feb, 2018, http://www.trend.uns.ac.rs/stskup/trend_2018/radovi/T1-3/T1.3-6.pdf
- 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.
- Sienkiewicz J., Hołyst J. A., Statistical analysis of 22 public transport networks in Poland, Physical Review E, 72(4), 2005., pp. 046127.
- Derrible S., Kennedy C., The complexity and robustness of metro networks, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 389(17), 2010., pp. 3678-3691.
- Kriještorac J., Primena metoda za analizu kompleksnih mreža u drumskom saobraćaju, master rad, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, novembar 2022.