

Kompleksne mreže

6. predavanje

<https://www.youtube.com/shorts/nmHzvQr3kYE>

<https://www.youtube.com/shorts/kWePYEdVbhc?feature=share>

Fake news spreads faster than true news on Twitter—thanks to people, not bots

Tweets containing falsehoods were 70% more likely to be retweeted than truthful tweets

8 MAR 2018 • BY [KATIE LANGIN](#)



Tweets containing false news (depicted in orange in this data visualization) spread to more people through Twitter than tweets containing true news (teal). CREDITS: (IMAGE) PETER BESHAI; (DATA) SOROUSH VOSOUGHI, DEB ROY, AND SINAN ARAL

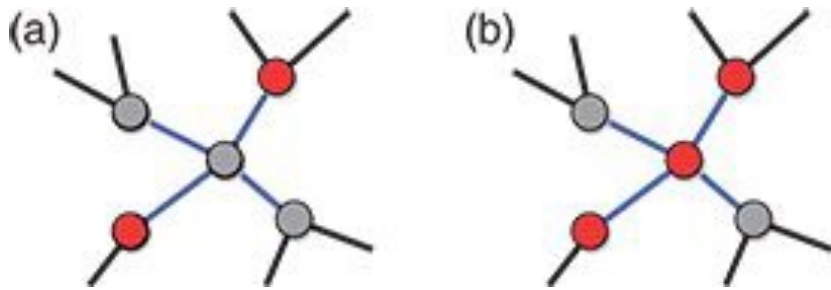
Ideja, informacija, utjecaj

- Središnja uloga mreža u širenju ideja i informacija u socijalnim zajednicama
- Izloženost novim stvarima preko prijatelja – npr. novi model mobitela, odjeća, novosti
- Socijalni utjecaj
 - Prilagođenje ponašanja
 - Donošenje odluka
 - Prihvatanje inovacija
 - Izoštavanje naših kulturalnih, političkih ili vjerskih pogleda

Ideja, informacija, utjecaj

- Modeliranje kako utjecaj, ideja i informacija se šire u socijalnim mrežama – ključna primjena mrežne znanosti
- Proces širenje se naziva i **socijalna zaraznost** – sličnost širenju zaraze kontaktima

Difuzija socijalnog utjecaja u mreži



- Određen broj čvorova (influencera) inicijalno aktiviran - ovisno o pravilima
- Aktivacija neaktivnih ovisno o prisustvu aktivnih susjeda ili drugih okolnosti ili parametara
- Slika – aktivacija središnjeg čvora
- Rezultat procesa – kreiranje kaskade utjecaja (aktivacija u slijedu podskupa čvorova)
- Kaskada – od par čvorova do **globalne kaskade**

Modeli praga

- Čvor je aktiviran jedino ako njegov utjecaj preko njegovih aktivnih susjeda prijeđe vrijednost praga
- Linearan model – suma težina veza koje povezuju s aktivnim susjedima
- Prijeden prag \rightarrow čvor postaje aktivan (usvaja ideju, informaciju ili ponašanje)
- $I(i) = \sum_{j:aktivan} w_{ji}$
- Aktivacija $I(i) \geq \theta_i$ - prag
- Netežinski graf $n_i^{on} \geq \theta_i$ - svodi se na broj aktivnih susjeda

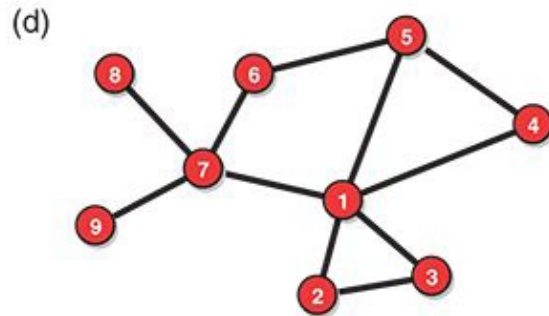
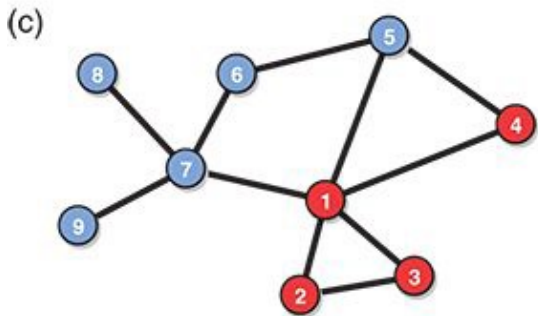
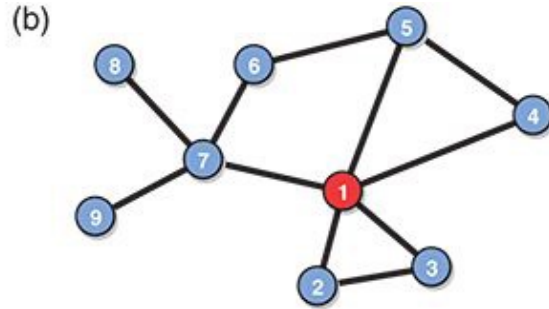
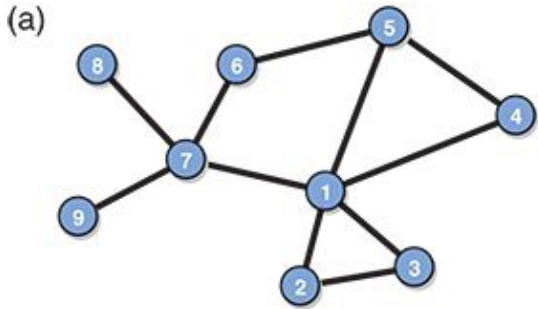
Model praga

- Odabrati mrežu (pretpostavimo da je netežinska)
- Pridružiti prag svim čvorovima
- Zadani broj čvorova aktivan – odaberemo slučajno
- Iterativni koraci
 - Svi aktivni čvorovi ostaju aktivni
 - Svaki neaktivni čvor je aktiviran ako broj aktivnih čvorova je iznad praga
 - Ponavljamo sve dok ne postoje čvorovi koje možemo aktivirati
- Poredak u kojem promatramo čvorove ne smije utjecati na realizaciju u modelima mrežne dinamike

Poredak u kojem promatramo čvorove

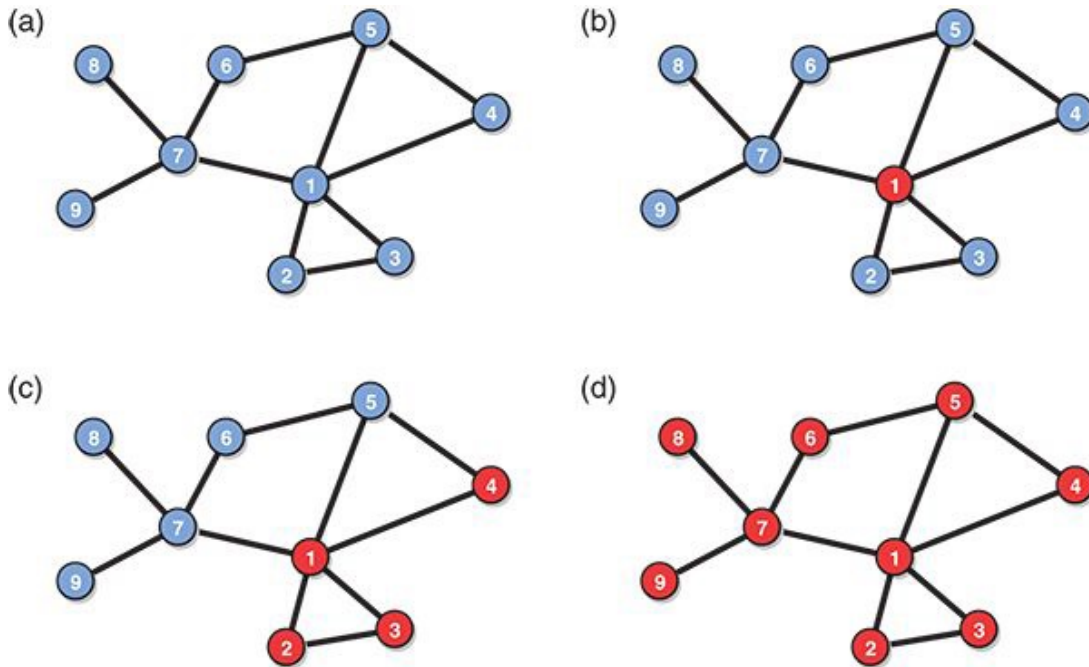
- Asinkrona implementacija
 - Čvorovi su evaluirani u različitoj slučajnoj sekvenci u svakoj iteraciji
 - Izbjegavamo pristranosti koje mogu nastati ako svaki put biramo isti slijed
- Sinkrona implementacija
 - Novo aktivirano stanje svakog čvora u svakoj iteraciji je određeno koristeći aktivacijske vrijednosti drugih čvorova u prethodnoj iteraciji
 - U ovom slučaju poredak je nebitan

Varijante modela praga



- Model udjela praga – udio aktivnih susjeda umjesto broja
- Primjer 1/2 – barem pola čvorova aktivno
- $\frac{n_i^{on}}{k_i} \geq \theta_i$

Kaskade

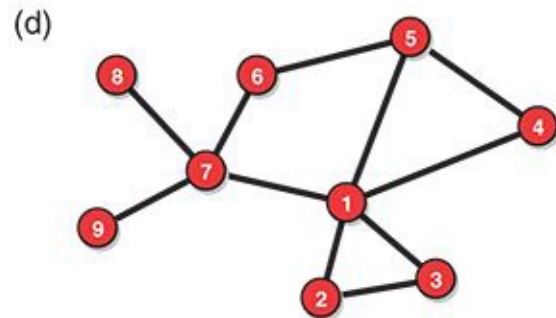
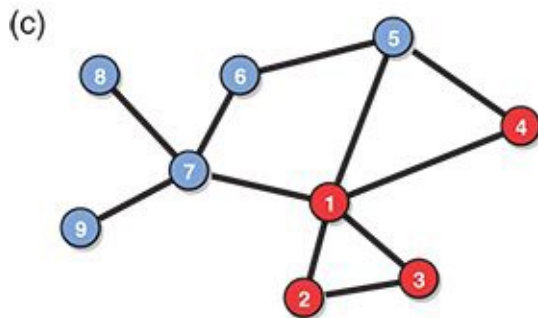
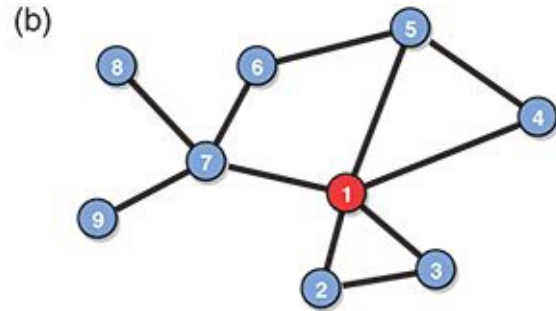
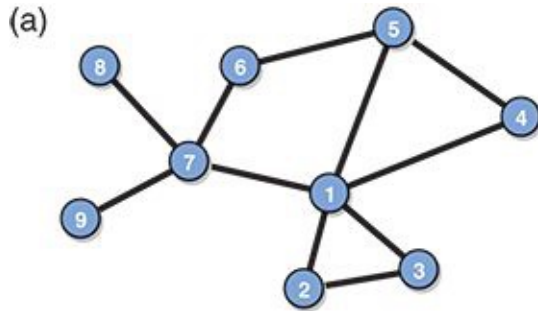


- Ako je mreža rijetka pojava globalne kaskada ovisi o strukturi
- **Ranjivi čvorovi**
 - mogu biti aktivirani jednim aktivnim susjedom
 - Ranjiv čvor ako $k_i \leq 1/\theta_i$
- Globalna kaskada – broj ranjivih čvorova velik

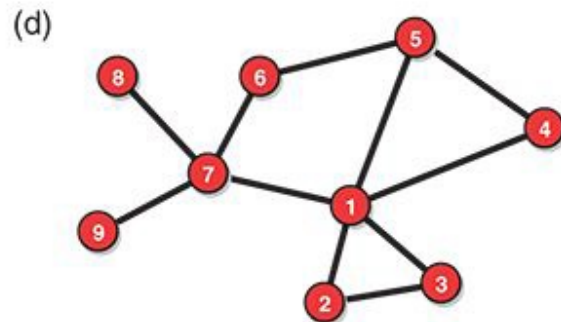
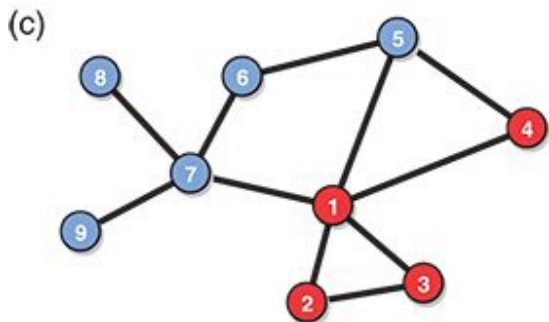
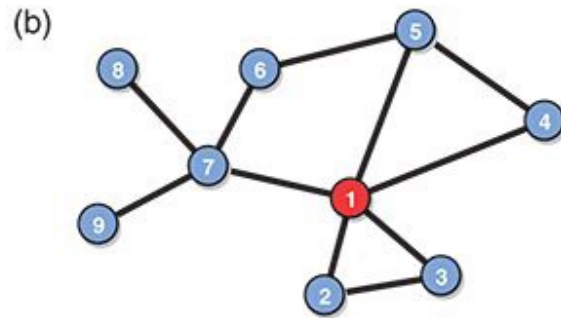
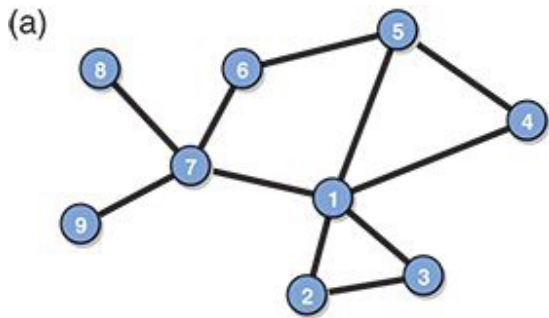
Kaskade

- Hubovi

- Obično efektivni influenceri
- Velik broj susjeda – veća vjerojatnost da neki ima dovoljno mali stupanj da postane ranjiv
- Ponekad nije dovoljno biti hub
- Pozicija u mreži bitna – kaskada na periferiji teško može utjecati na jezgru

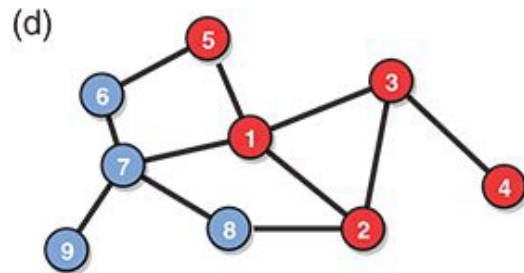
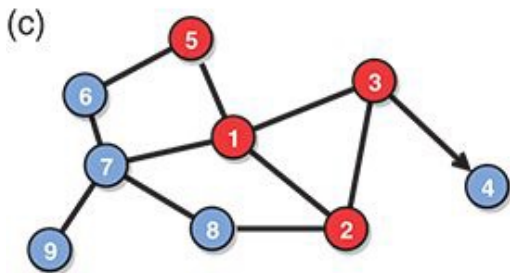
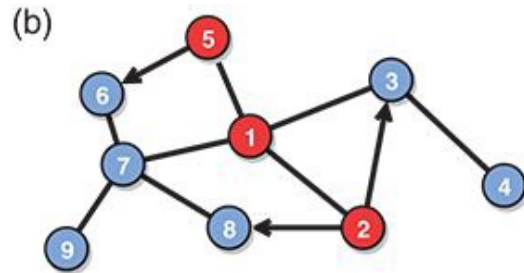
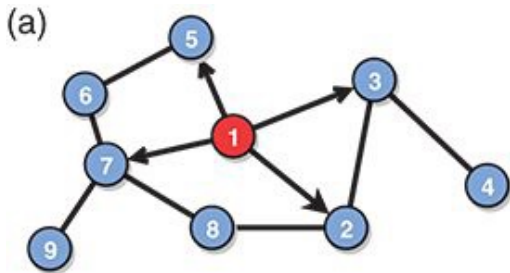


Kaskade



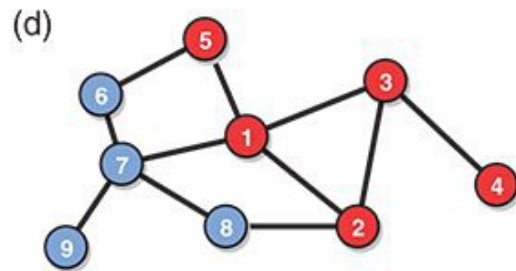
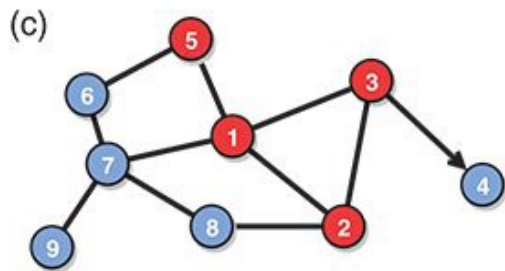
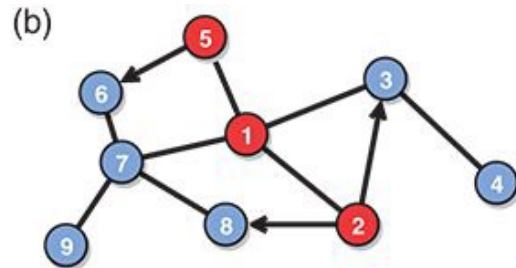
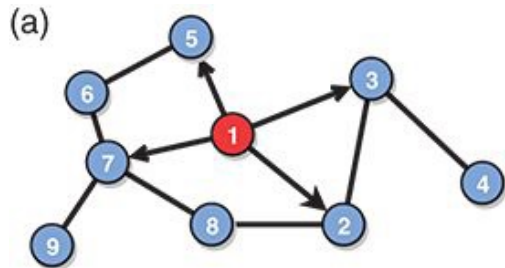
- Gustoća i odvojenost zajednica
 - Širenje potpomognuto u gustim zajednicama, ometano među zajednicama
- Poznavanje strukture - bitno
- Primjer čvor 7 je influencer

Nezavisni kaskadni modeli



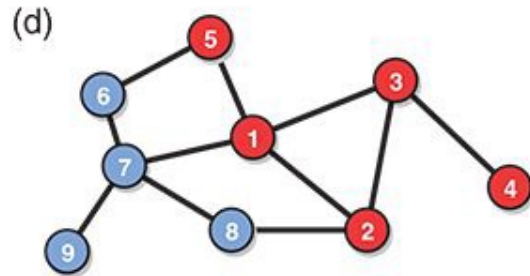
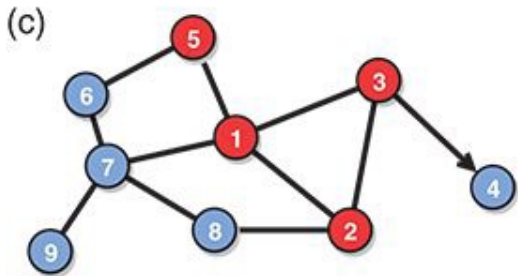
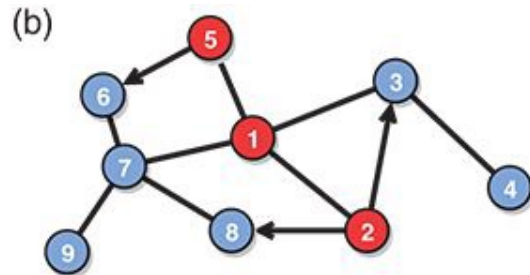
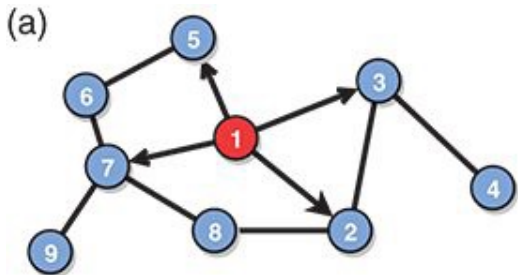
- Modeli praga
 - pritisak istovrsnih (*engl. peer pressure*)
 - više kontakata dijele ideju ili proizvod
-> veća vjerojatnost da ćemo usvojiti
 - Kao da naši aktivni susjedi zajedno utječu na nas da prihvatimo
- Nezavisni kaskadni modeli
 - Svaki od čvorova ima svoj utjecaj

Nezavisni kaskadni modeli



- Postavke iste kao i kod modela praga
- Aktivni čvor ima šansu “nagovoriti” svakog od neaktivnih susjeda
- Svaki susjed se aktivira s nekom vjerojatnošću utjecaja
- Ako čvor ne uspije aktivirati susjeda, ne može ponoviti – može biti nagovoren od ostalih aktivnih
- Primjer – vjerojatnost utjecaja $1/2$

Nezavisni kaskadni modeli



- Aktivni čvor i ima vjerojatnost p_{ij} da nagovori neaktivnog susjeda j
- Nema utjecaja ostalih čvorova
- Asinkrona implementacija
 - j ima nekoliko aktivnih susjeda
 - Pokušaji aktivacije u proizvoljnom redu za izbjegavanje pristranosti
- p_{ij} i p_{ji} se mogu razlikovati (Koliko smo uspješni u nagovaranju i koliko nas lako nagovoriti)

Usporedba modela praga i nezavisnih kaskada

- Veći broj aktivnih susjeda – veća vjerojatnost aktivacije
- Razlike između modela
 - Modeli praga – naglasak na ciljanom čvoru, deterministički (broj ili udio susjeda, uvijek ista realizacija)
 - Modeli nezavisnih kaskada - naglasak na influenceru, vjerojatnosni (dinamika ovisi o "sreći") – teško predvidjeti progres kaskade

Usporedba modela praga i nezavisnih kaskada

- Sofisticiranije verzije modela
 - Vjerojatnosna verzija modela praga (šansa za aktivaciju raste s brojem čvorova)
 - Slično kao kod nezavisnih kaskada, no aktivni susjedi nisu nezavisni
 - Kompleksni procesi širenja – svaka nova osoba koja nas izlaže produktu ili ideji ima veći utjecaj nego prethodni da uspije

Question: If you were asked to vote today on the question of the United States entering the war against Germany and Italy, how would you vote—to go into the war, or to stay out of war?

1941

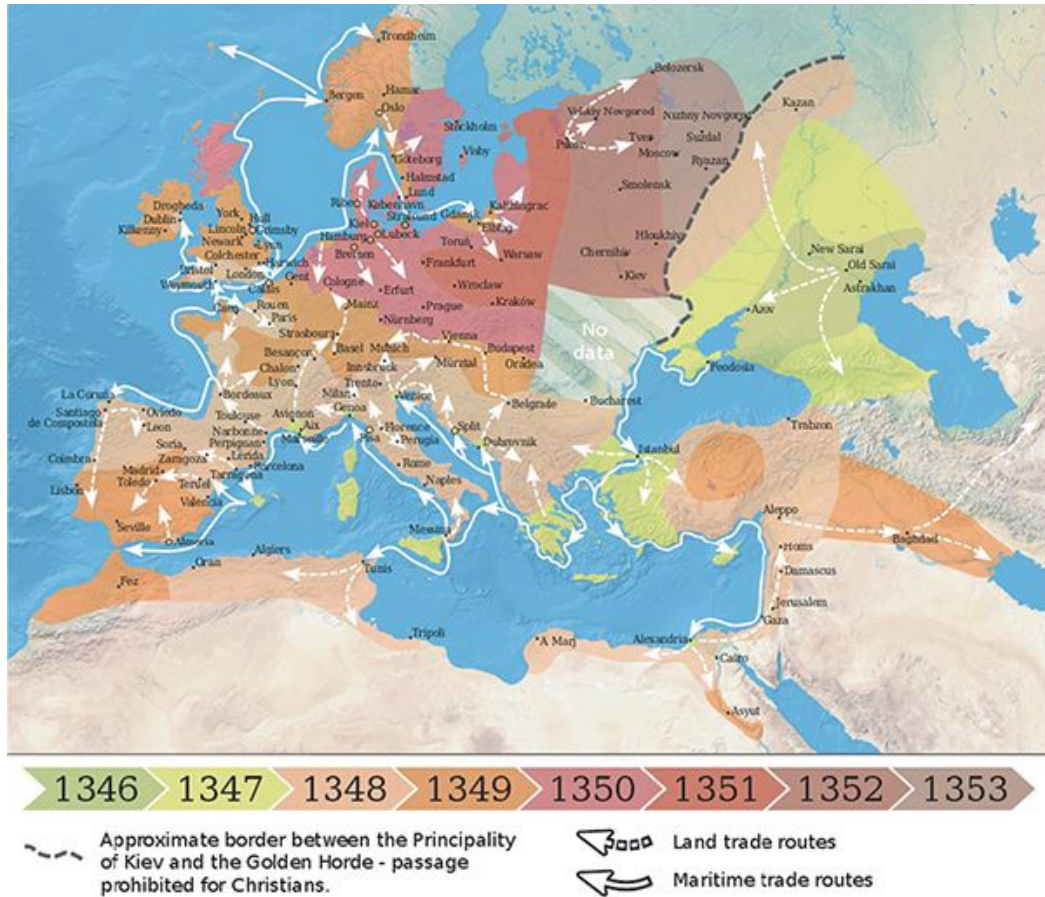
Would vote to go to war



19%

Source: Survey by the Gallup Organization, April 10–15, 1941.

Širenje epidemija

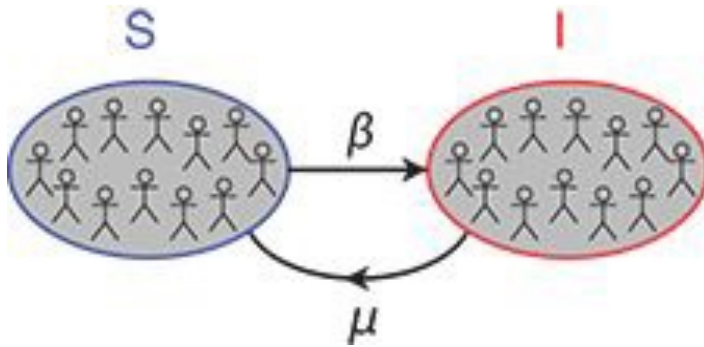


- Kuga (crna smrt)
- Prijenosnici – buhe koje žive na crnim štakorima koji su putovali na trgovačkim brodovima
- Vjerojatno krenula u središnjoj Aziji
- Europa 1346 – 1353
- Umrlo 30-60 % europske populacije
- Danas
 - Efikasnije metode za izbjegavanje uništavajućih efekata zaraznih bolesti
 - Zbog povezanosti svijeta brzina širenja - povećana

Novi oblici epidemija

- Računalni virusi
- Virusi na mobilnim telefonima (širenje npr. Bluetooth)
- Širenje glasina, hoaxa, lažnih novosti, zavjera, pseudoznanosti
- Procesi širenja informacija – slični epidemijama zaraznih bolesti

Osnovni modeli širenja – SIS model

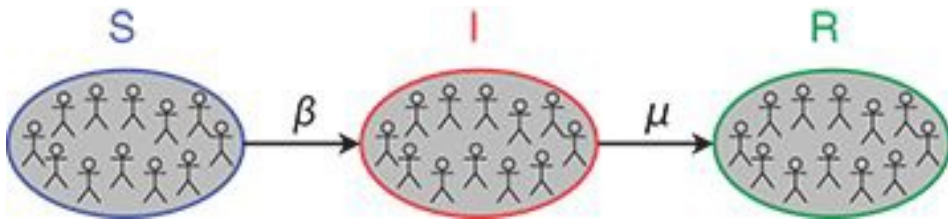


- Podjela populacije u odjeljke
 - Podložni - *Susceptible* (S)
 - Zaraženi - *Infected* (I)
- SIS model
 - Ne postoji dugotrajna imunost (npr. Prehlada, Covid, ...)

SIS model

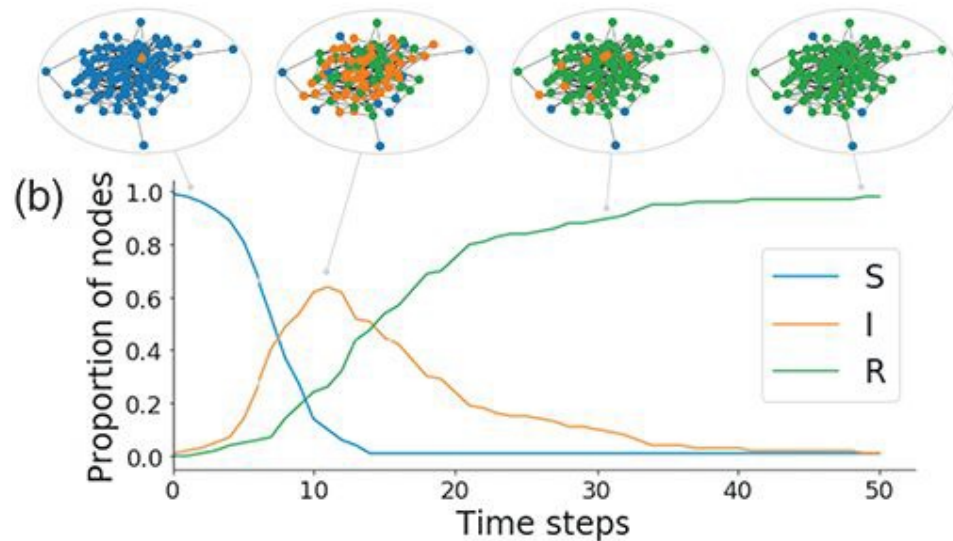
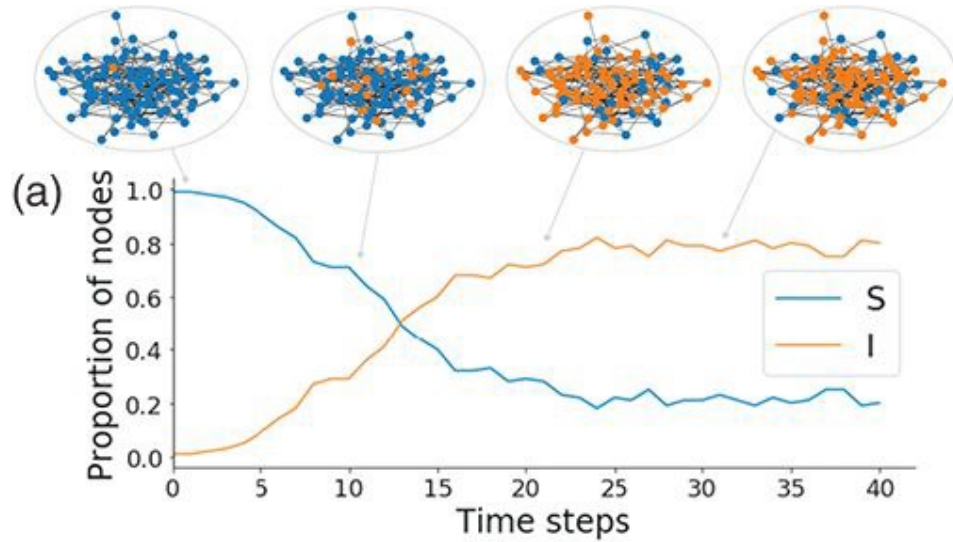
- Mreža kontakata od empirijskih podataka ili umjetna mreža, neki od čvorova zaraženih u skladu s kriterijem (npr. Slučajno)
- Svi ostali su podložni
- Iteracija, posjetimo svaki čvor. Za svaki čvor i
 - Ako je i podložen, prođemo sve njegove susjede. Za svakog zaraženog susjeda i postaje zaražen s vjerojatnošću β
 - Ako je i zaražen, postaje podložen s vjerojatnošću μ
- Čvorove obilazimo asinkrono u slučajnom poretku ili sinkrono
- Parametri β i μ ključni za model

SIR model



- Oporavljen – *Recovered* (R)
- Bolesti s dugotrajnim imunitetom (ospice, kozice, rubeola, mums)
- Umro – specijalan slučaj oporavljenog
- Širenje prestaje kada nema više zaraženih pojedinaca

Evolucija SIS i SIR modela



- Na početku par ljudi zaraženo
- Nakon toga eksponencijalni porast
- Stacionarno stanje
 - Endemična – djeluje na stabilan udjel populacije
 - Iskorijenjena

Klasični epidemiološki modeli

- Homogeno miješanje
 - pretpostavka da svaki pojedinac može biti u kontaktu s bilo kojim drugim.
 - Svi pojedinci u istom odjeljku imaju identično ponašanje
 - Pretpostavka punog grafa – svi povezani sa svima
 - Ima smisla za male populacije – npr. manje selo, razred
- U svakoj iteraciji novozaraženi (sekundarna zaraza) i oporavljeni
- Da bi se epidemija širila mora biti više novozaraženih od oporavljenih
- Kod homogenih mreža ovo vodi u efekt praga

Osnovni reprodukcijski broj

- prosječan broj novozaraženih generiran od strane zaraženog pojedinca
 - Ovisi o stopi zaraznosti, stopi oporavka, prosječnom stupnju
 - Ako je veći od praga – epidemija može zahvatiti značajan udio populacije
 - Inače – zamire brzo bez značajnih utjecaja
- $\langle k \rangle$ - prosječan stupanj (aproksimacija)
- β – vjerojatnost zaraze susjeda
- μ – vjerojatnost oporavka
- $\beta \langle k \rangle$ - prosječan broj zaraženih od strane jedne osobe u jednoj iteraciji

Osnovni reprodukcijski broj

- $I_{sec} = \beta \langle k \rangle I$ (sekundarna infekcija)
- $I_{rec} = \mu I$ (novooporavljeni)
- Za širenje epidemije $\beta \langle k \rangle I > \mu I \Rightarrow R_0 = \frac{\beta}{\mu} \langle k \rangle > 1$
- R_0 - osnovni reprodukcijski broj
- $R_0 < 1$ – epidemija umire u kratkom vremenu
- $R_0 > 1$ – epidemija nastavlja širenje
- Razni faktori imaju dodatan utjecaj i spriječiti epidemiju– karantena, mrežna struktura zajednica
- Ospice $R_0 = 10$, ebola $R_0 = 2$

Realna mreža kontakata

- Nije homogena
- Prisustvo hubova značajno mijenja scenarij
- Ukoliko postoje čvorovi s vrlo visokim stupnjem -> **efektivno kao da nema praga**
- Čak i bolesti s niskom stopom zaraznosti ili/i visokom stopom oporavka mogu se proširiti na značajan udio populacije
- Čak i ako je vjerojatnost zaraze niska, jednostavno je zaraziti jedan ili više hubova koji su izloženi zbog velikog broja kontakata
- Jednom zaraženi hubovi su opasni širitelji

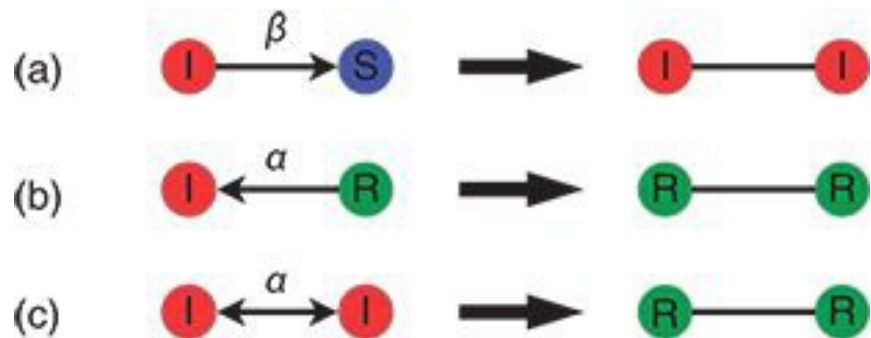
Uloga u hubova u epidemiji

- Izolirati i cijepiti populaciju s puno kontakata
- Seksualni radnici za spolno prenosive bolesti
- Često nije lako identificirati hubove
- Uzmemo slučajnu uzorak populacije i cijepimo njihove susjede (paradoks prijateljstva)
- Cijepljenje roditelja male djece

Model širenje glasina

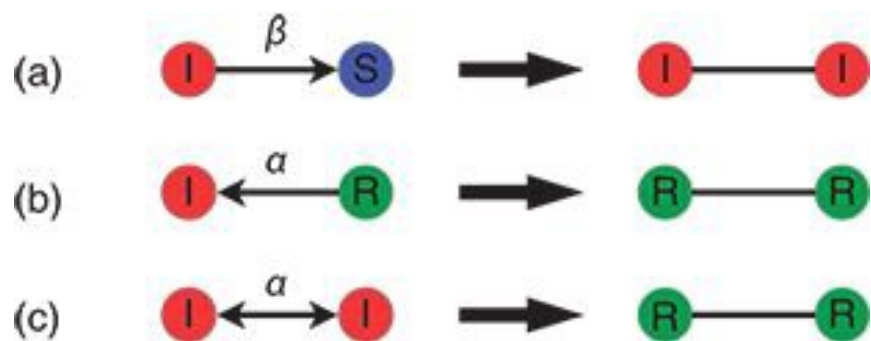
- Neupućen – Ignorant (S)
- Širitelj – Spreader (I)
- Zadržatelj – Stiffler (R)
- Ljudi su angažirani u širenje ideja sve dok postoje ljudi koji su ih nesvjesni

Model širenja glasina



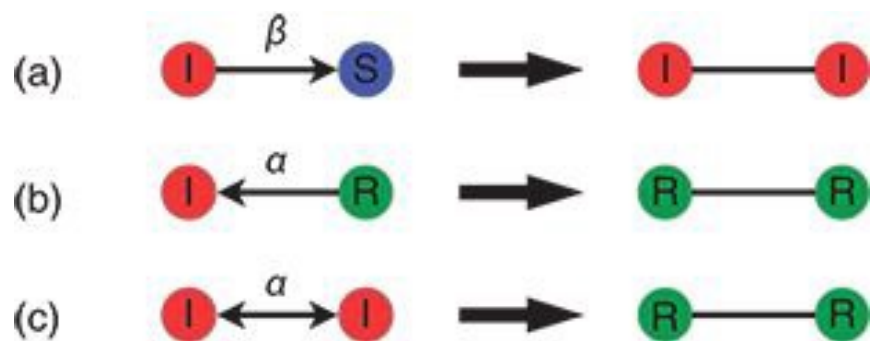
- Na početku su svi neupućeni osim malo broja odabranih za širenje glasina
- Kada širitelj sretne neupućenog, glasina se širi s vjerojatnosti prijenosa β
- Kada širitelj glasina sretne zadržatelja ili širitelja postaje zadržatelj s vjerojatnosti zaustavljanja širenja α
- Ako neupućen sretne zadržatelja, ništa se ne dogodi

Model širenja glasina



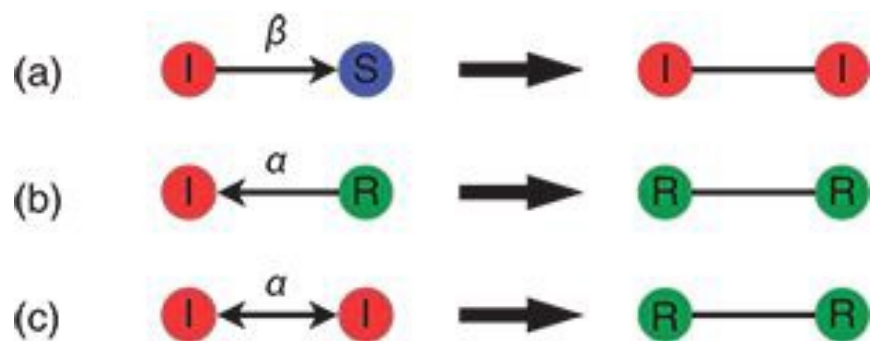
- U svakoj iteraciji, svi čvorovi se obilaze sinkrono ili asinkrono u slučajnom poretку. Za svaki čvor i :
 1. Ako je i neupućen, obiđi sve susjede. Za svakog susjeda širitelja, i postaje širitelj s vjerojatnošću β
 2. Ako je i širitelj, obiđi susjede:
 - i. Za svakog susjeda zadržatelja, i postaje zadržatelj s vjerojatnošću α
 - ii. Za svakog susjeda širitelja, susjed postaje zadržatelj s vjerojatnošću α

Model širenja glasina



- Za razliku od SIR-a prelazak iz I u R nije spontan, nego ovisi o interakciji među pojedincima
- Slično SIR modelu, krećemo s nekoliko širitelja, a na kraju će svi pojedinci biti neupućeni ili zadržatelji
- Broj zadržatelja je jednak ukupnom broju svih koji su saznali za glasine

Model širenja glasina



- Model nema praga ni za homogene mreže
- Glasine mogu doseći velik broj ljudi iako je vjerojatnost prijenosa mala
- Konačni broj ljudi svjestan glasine je manji nego u homogenim mreža s jednakim brojem čvorova i veza
- Rano dosezanje hubova
- Kada hubovi postanu zadržatelji, difuzioni proces usporava

Life

Algorithm zeroes in on origins of disease outbreaks

📅 24 June 2015



(Image: Da-kuk/Getty)

WE'RE zeroing in. In a [disease outbreak](#), "patient zero" is the first person to be infected, and finding them can help stop the outbreak. But incomplete data mean that person is usually hard to track down. Now an algorithm could help with that hunt.

Dinamika mišljenja

- Imamo mišljenja o svemu i svačemu
- Mišljenje vode naše ponašanje, utječu na naše odabire, utječu na naše planove
- Politike implementirane od strane vlade su diktirane mišljenjima o trgovini, konfliktima, imigraciji, pandemiji, okolišu
- Dinamika mišljenja – kako se mišljenja formiraju i šire u društvu
- Društvene mreže – moćni alati za kruženje i čak manipuliranje mišljenjem
- Modeli dinamike mišljenja – slični modelima širenja utjecaja, ali sa specifičnim svojstvima
- Modeli: diskretni i kontinuirani

Diskretna mišljenja

- Često imamo limitirani broj opcija (Android/iPhone, kupi/prodaj,...)
- Mišljenje predstavljeno s cjelobrojnim atributom – stanjem čvora
- Za početak pretpostavimo binarna mišljenja
- Model je karakteriziran skupom pravila koja određuju kako se mišljenje čvora mijenja zbog mišljenja susjeda

Dinamika diskretnog mišljenja

1. Inicijalno, mišljenja su slučajno pridijeljena čvorovima u mreži. Inicijalno isti broj ljudi ima jedno od mišljenja (neslaganje)
2. Mišljenja čvorova se osvježavaju. Svaka iteracija sastoji se od prolaska svih čvorova. Tipično, čvorovi se osvježavaju asinkrono u slučajnom poretku radi olakšanja konvergencije

Dinamika diskretnog mišljenja

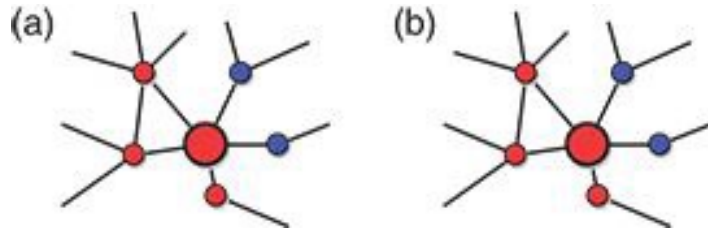
3. Postoje dvije moguće realizacije:

- i. Sustav dostiže stabilno stanje, gdje se mišljenja više ne mijenjaju. Dolazimo do konsenzusa (svi se slažu) ili polarizacije
- ii. Sustav ne dosiže stacionarno stanje, na način da neki čvorovi (ili svi) mijenjaju stanje u svakoj iteraciji. Ipak, neka svojstva, npr. srednja vrijednost svih varijabli se stabilizira na dulji period

Standardne varijable za praćenje modela

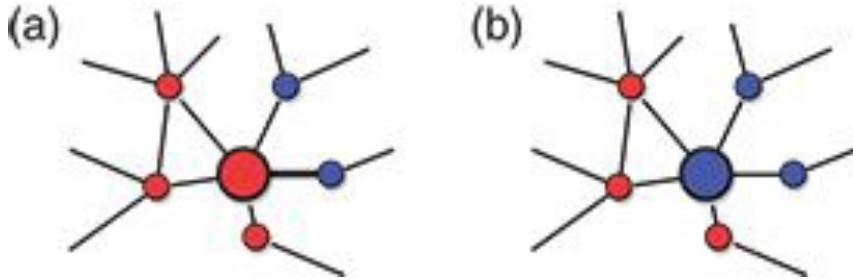
- Srednje mišljenje
 - Aritmetička sredina
 - Stacionarno stanje - konvergencija prema preciznoj vrijednosti
 - Konsenzus – jedan ili nula
- Izlazna vjerojatnost
 - Koliko je izgledno da mreža postigne konsenzus oko jednog mišljenje kao funkcija udjela čvorova s tim mišljenjem
 - Npr. da sve realizacije vode u konsenzus, a 30 % njih vodi u željeno mišljenje - > izlazna vjerojatnost je 0.3

Model većine



- Model većine:
 - Svaki čvor preuzima mišljenje većine svojih susjeda
 - Ako je broj paran i jednak broj susjeda dijeli različita mišljenja, slučajno odabiremo jedno
 - Stabilna stanja:
 - Konsenzus
 - Ako čvor ima mišljenje većine svojih susjeda to se mišljenje neće mijenjati
 - U većini realnih mreža nikada ne dolazi do konsenzusa

Model glasanja



- Svaki čvor preuzima mišljenje slučajno odabranog susjeda
- Konsenzus je jedino stabilno stanje ovoga modela
- Realizacija dinamike nije izvjesna
- Primjer:
 - 30 % čvorova ima opciju jedan inicijalne konfiguracije
 - Očekujemo da će 30 % od svih realizacija završiti u stanju jedan
 - Ne možemo reći hoće li pojedina realizacija završiti u konsenzusu jedan ili nula

Varijacije modela glasanja

- Prisustvo čvorova koji nikada ne mijenjaju mišljenje. Ako svi imaju isto mišljenje, favorizirat će to mišljenje, inače konsenzus neće biti postignut
- Razmatranje više od dva mišljenja. Interakcija može biti ograničena samo na čvorove koji imaju dovoljno bliska mišljenja.
- Mogućnost da čvorovi mijenjaju mišljenje spontano, npr. s izvjesnom vjerojatnošću u svakoj interakciji, dodatno na dinamiku glasanja