



Komplexe Netzwerke

Netzwerkfluss

Dr. Matthias Scholz

www.network-science.org/SS2009.html

8 Netzwerkfluss

(*network flow*)

Netzwerkfluss: Austausch und Ausbreitung von Informationen, Gütern, Viren oder auch Störungen (Stromnetz)

In *kleine-Welt-Netzwerken* besonders in *skalenfreien Netzwerken* breiten sich Informationen oder Viren sehr schnell aus.

In stark vernetzten Gesellschaften können sich Informationen sehr schnell ausbreiten. Aber auch Viren und andere Krankheitserreger können sich schnell ausbreiten.

Epidemische Modelle: Stimmt die Grundannahme? Viele theoretische Studien über die Ausbreitung von Infektionen basieren auf der Annahme, dass alle Individuen einen gleichen Vernetzungsgrad haben. Reale (skalenfreie) Netzwerke zeigen allerdings eine sehr ungleiche Gradverteilung (Potenzgesetz). Wird diese skalenfreie Vernetzung im Infektionsmodell berücksichtigt, führt das zu stark veränderten Aussagen und Vorhersagen (→ 8.2.1 SIS-Modell).

8.1 Arten von Flüssen

8.1.1 Parasitäre Flüsse

- **gewünschter Fluss:** Zweck des Netzwerkes,
Kommunikationsnetzwerk: Informationen (zum Thema des Netzwerkes, z.B. Forschungsnetzwerk)
Handelsnetzwerk: Güter
- **parasitärer Fluss:** Viren, Werbung (*Guerrilla-Marketing*, *Viral Marketing*, *Viral Campaign*)

8.1.2 Masseerhaltung

Masse erhaltender Fluss (Flusserhaltung) (*conserved flows*):

Gesamtmenge des fließenden Inhalts innerhalb des Netzwerks bleibt konstant.

Für jeden Knoten gilt, dass die Summe der Flüsse über alle Kanten des Knotens konstant bleibt: Für jeden Knoten ist die Summe der einfließenden Ströme gleich der Summe der ausfließenden Ströme.

Beispiele:

- Stromnetz
- Datenpakete im Internet
- Straßenverkehr
- metabolische Flüsse

Typische Fragestellungen:

Wo treten Stauungen auf? (Stauennetz)

Wie wird der Fluss optimal durch das Netzwerk geleitet? (Datenfluss im Internet)

Fluss mit verändernder Masse (*non-conserved flows*):

Menge des Inhalts ändert (wächst, vervielfältigt) sich.

- Informationen
- Viren

Typische Fragestellungen:

Wie schnell breiten sich Informationen/Signale/Krankheiten aus? Wie groß ist der Anteil der Bevölkerung, den die Information oder der Virus erreicht hat?

8.2 Epidemische Modelle

Mathematische Modellierung von Epidemien

Wie schnell breitet sich ein Virus in einem bestimmten Umfeld aus?

Welchen Anteil der Population infiziert der Virus?

Wenn ein bestimmter Anteil in der Bevölkerung immunisiert ist, welchen Einfluss hat das auf die Ausbreitung einer ansteckenden Krankheit?

8.2.1 SI-, SIR-, SIS-Modell

Klassische epidemische Grundmodelle zur Beschreibung der Ausbreitung von ansteckenden Krankheiten.

- stochastisch
- Differentialgleichungsmodell
- kontinuierliches Modell

SI-Modell	<i>Susceptible-Infected</i> Ansteckung ohne Gesundung
SIR-Modell	<i>Susceptible-Infected-Recovered</i> Ausbreitung von ansteckenden Krankheiten mit Immunitätsbildung gesunde Individuen S (<i>susceptible</i>), ansteckende Individuen I (<i>infected</i>) geheilte und immunisierte Individuen R (<i>recovered</i>)
SIS-Modell	<i>Susceptible-Infected-Susceptible</i> Ausbreitung von ansteckenden Krankheiten ohne Immunitätsbildung gesunde, auch geheilte, Individuen S (<i>susceptible</i>), ansteckende Individuen I (<i>infected</i>)

Eine falsche Grundannahme kann zu falschen Ergebnissen führen:

Aussage der klassischen Modelle mit der Grundannahme einer Zufallsgraph-Vernetzung:
Wenn die Ansteckungsrate unterhalb einer Schwelle liegt, verschwindet die Infektion aus der Population.

Bei Berücksichtigung der skalenfreien Verteilung in realen Netzwerken (Pastor-Satorras and Vespignani, 2001) ändert sich die Aussage: Es gibt keine kritische Schwelle mehr. Infektionen bleiben in einer Population, die skalenfrei vernetzt ist, erhalten (verschwinden nie vollständig).

8.3 Diskrete Modelle

Graphbasierte Modelle (Flussalgorithmen)

Literatur

Pastor-Satorras, R., Vespignani, A. Epidemic spreading in scale-free networks. *Physical Review Letters*, 86:3200–3203, 2001. doi: 10.1103/PhysRevLett.86.3200.