

English Summary

5.4 Modularity in (social) networks

Aim: Split networks in groups / sort nodes into communities that are internally stronger connected than between groups of equal size (N, L)

Idea: Comparison to expected # links within / between groups in a random network

• Maximize modularity $Q = \frac{1}{2L} \sum_{ij} \left(A_{ij} - \frac{k_i k_j}{2L} \right) \delta(s_i, s_j)$ (applies to many groups $s_i \in \{1, \dots, M\}$)
↑
Start with random assignment and optimize

• Applications / case studies:

1) Communication behavior and language borders → Belgium

2) Livestock trade → German pig-trade network

6 Krankheitsausbreitung und -Eindämmung

Siehe auch Kap. 5.3 Mobilität und Krankheitsausbreitung.

Ziel: Identifikation von einer geringen Anzahl von Knoten, die bei einem Ausbruch früh und von vielen verschiedenen Startpunkten betroffen sind.

⇒ "sentinel nodes" (Wächter)

JOURNAL
OF
THE ROYAL
SOCIETY

Interface



CrossMark
click for updates

J. R. Soc. Interface (2012) 9, 2814–2825

doi:10.1098/rsif.2012.0289

Published online 22 June 2012

Optimizing surveillance for livestock disease spreading through animal movements

Paolo Bajardi^{1,2}, Alain Barrat^{2,3}, Lara Savini⁴
and Vittoria Colizza^{5,6,7,*}

Idea: Vergleich der Überlapp von Ausbreitungspfaden Γ_1 und Γ_2 beginnend bei 2 unverschiedlichen Startknoten.

Quantifizierung durch den Jaccard-Index: $\Theta_{12} = \frac{|V_1 \cap V_2|}{|V_1 \cup V_2|}$

$|V_i|$: # Knoten entlang Pfad Γ_i

relative Größe der Schnittmenge



$\Rightarrow \theta_{i_2} = 1$ für $|V_1 \cap V_2| = |V_1 \cup V_2|$
 $\theta_{i_2} = 0$ für $|V_1 \cap V_2| = 0, V_1 \cap V_2 = \emptyset$

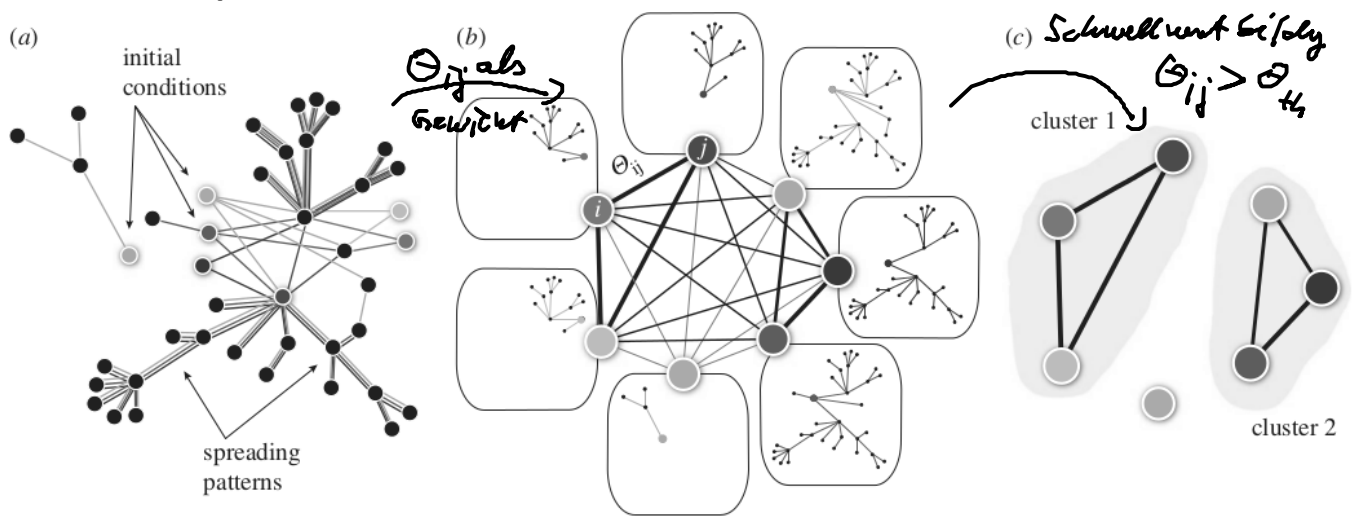
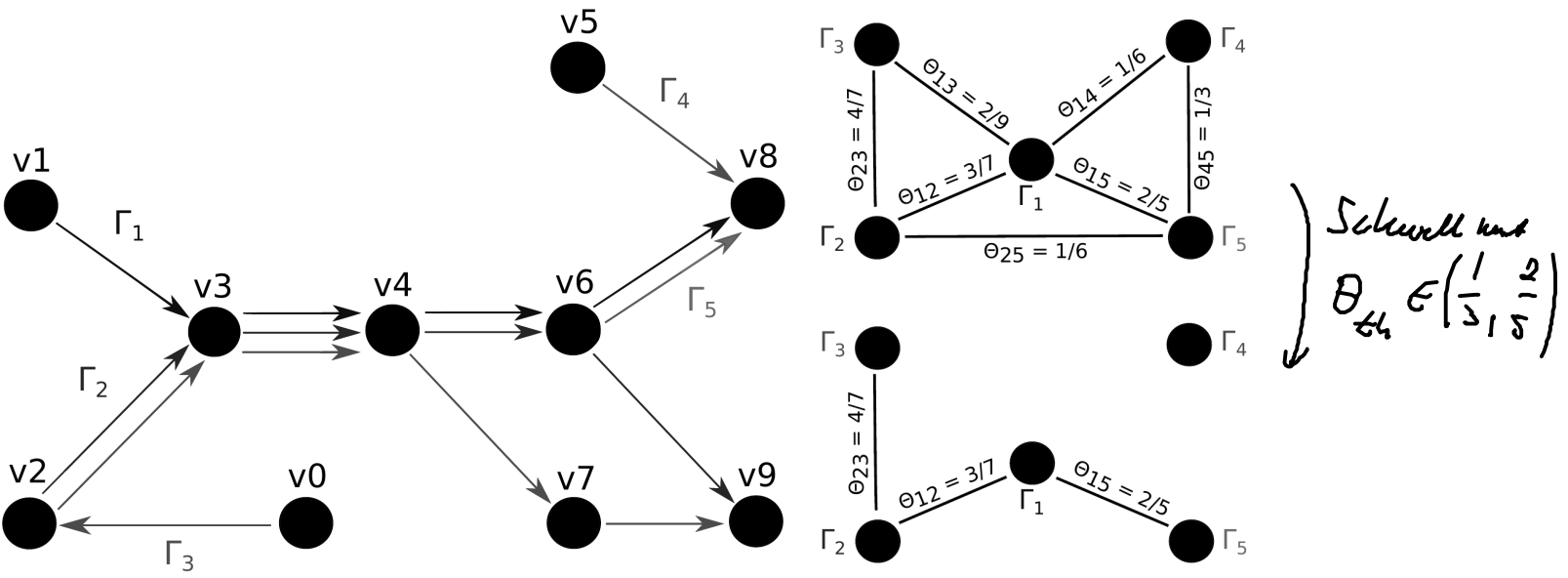


Figure 2. Schematic of the cluster detection procedure. (a) Different simulated invasion paths (coloured lines) obtained for different seeders (corresponding coloured nodes) are shown on the network. (b) The initial conditions similarity network (ICSN) is obtained by calculating, for any pair of initial conditions i and j , the overlap θ_{ij} measuring the similarity between the invasion paths originated by i and j . Thicker lines in the ICSN indicate a higher overlap. (c) By removing all links of the ICSN with an overlap lower than a given threshold θ_{th} , clusters of nodes leading to similar propagation paths emerge.

Cluster (funktionale Communities) gemäß der Ähnlichkeit der Ausbreitungspfade



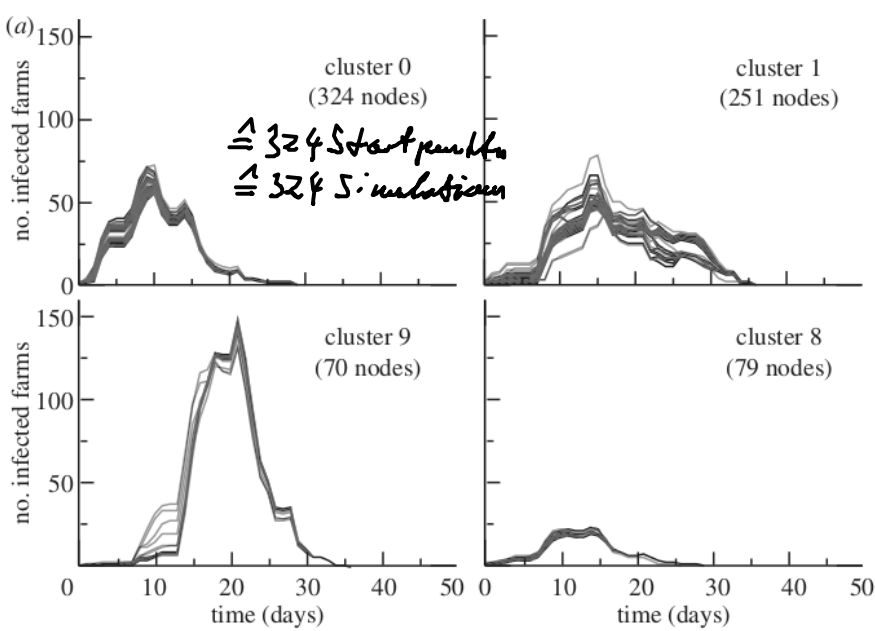
Schwellwert $\theta_{th} \in (\frac{1}{5}, \frac{2}{5})$

Modell der Krankheitsausbreitung: SIR-Modell

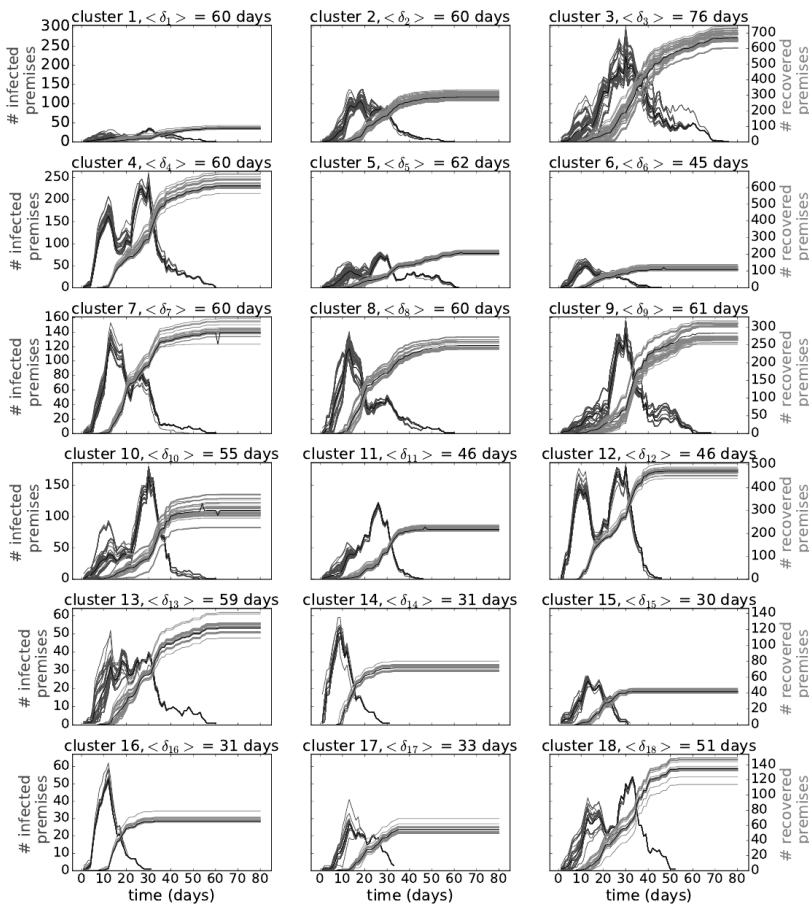
Susceptible, infected/infectious, recovered/removed

- (i) Ausbreitung mit Wahrscheinlichkeit 1 (worst-case Szenario) $I+S \rightarrow I+I$
- (ii) Erholung nach τ^{-1} Tagen (hier $\tau^{-1} = 7$ Tage) $I \rightarrow R$

- Betrachte alle möglichen Knoten als Startpunkte
- Sortiere Anfangsknoten in funktionelle Cluster gemäß $\theta_{ij} > \theta_{th}$



Cluster zeigen sehr große Ähnlichkeit in den Zeitverläufen
 Daten $\hat{=}$ Handelsnetzwerk:
 italienischer Rindfleischhandel
 mit zeitlich aufgelösten Links



Daten: deutsches Schweinehandelsnetzwerk

Property	Value
Number of nodes	97,980
Number of edges	315,333
Edge density	3.2×10^{-5}
Size of GSCC	28 %
Diameter	18
Average shortest path length	5.5
Path density	0.24
Median and average trade volume of a premises	
on a day	32.0, 113.4
in a month	88.0, 355.0
in a year	280.0, 2587.6

große Ähnlichkeit der Ausbreitungsprofile

Besondere bei Wakterheimsicherheit, dass eine Knoten k_i bei insgesamt n_k Ausbreitungen bei Start i in Cluster j erreicht wird: $\pi_j(k_i)$

Bsp: Ausbreitung nur von einem Cluster: $\pi_j(k_i) = 1$, $\pi_{\text{andere}}(k_i) = 0$

Ausbreitung von n_k verschiedenen Clustern: $\pi_j(k_i) = \frac{1}{n_k}$

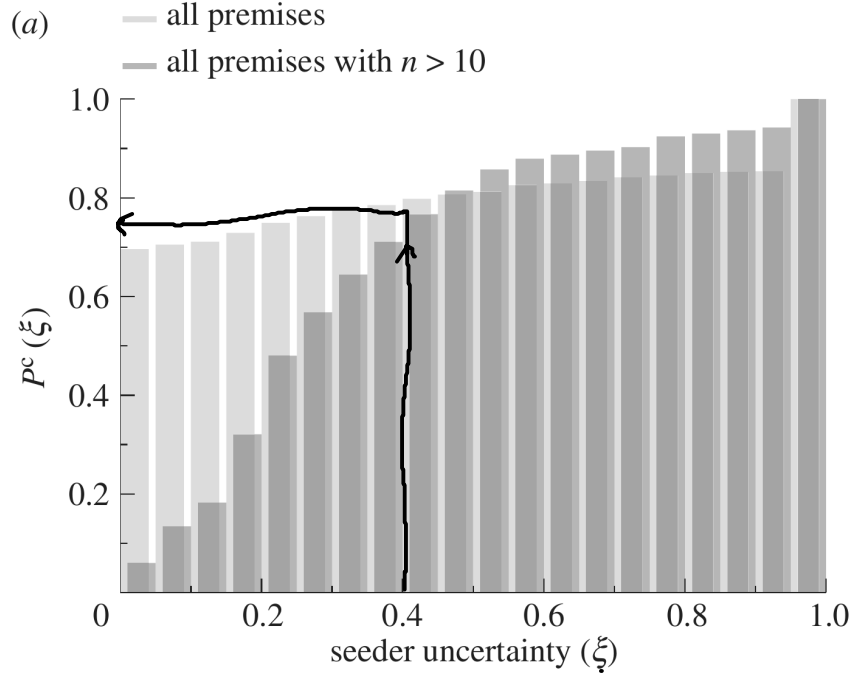
⇒ Wie gleichverteilt ist $\pi_j(k)$?

Entropie $\xi(k) = -\frac{1}{\log n_k} \sum_j \pi_j(k) \log \pi_j(k)$

$\rightarrow 0$ immer vom selben k ausgeht
 $\rightarrow 1$ immer von verschiedenen k ausged.

Interpretation: $\xi(k) \hat{=}$ Unsicherheit, den Ausgangscluster zu identifizieren

$P^c(\xi) = \sum_{\xi' < \xi} P(\xi')$ Kumulative Wahrscheinlichkeit für ξ



Bsp: Bei einer Unsicherheit von $\xi \leq 0.4$ sind ca. 75% der herdbiome enthalten.

Seedotel - Bestimmung über:
 n : # Infektionen
 ξ : Unsicherheit

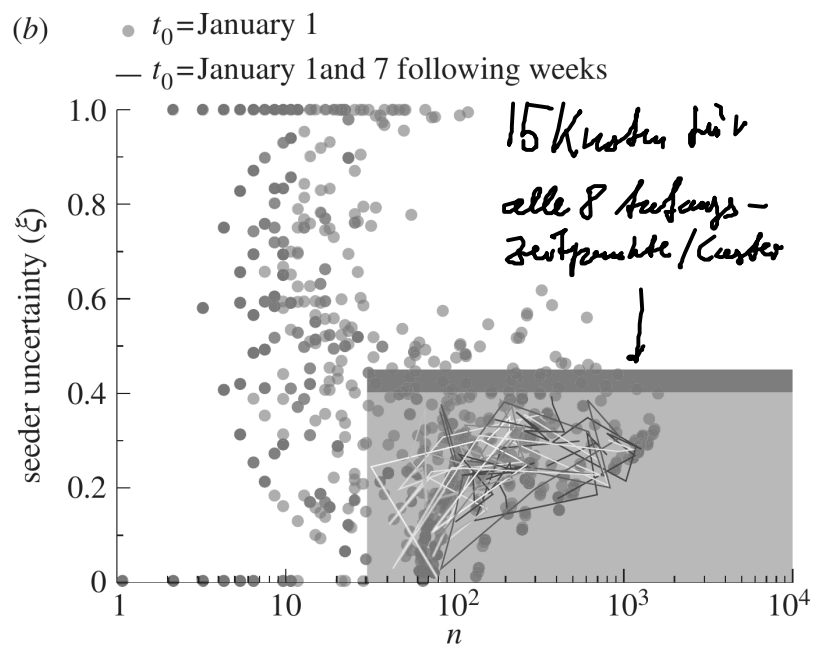


Figure 7. Sentinel premises. (a) Cumulative probability distribution of the uncertainty ξ of a given premises in the identification of the seeding cluster. Slaughterhouses are discarded from the analysis, as they cannot spread the disease further to other farms. (b) For a set of initial conditions (x_0, t_0) , with $t_0 = 1$ January, each infected farm is represented by a dot in the $n - \xi$ phase space, with n being the number of times the farm is reached by an infection. Sentinel nodes are defined as the farms that are often reached by epidemics (i.e. $n > n_s$) and have a low degree of uncertainty in the identification of the seeding cluster that led to the outbreak (i.e. $\xi < \xi_s$). The plot shows the trajectories in the $n - \xi$ phase space of the 15 sentinels obtained by imposing $n_s = 30$ and $\xi_s = 0.4$, for eight consecutive weeks starting from 1 January.

Ziel: Wähle Sentinels als Knoten mit großem n und geringer Unsicherheit
 z.B.: $n \geq 30, \xi \leq 0.4$

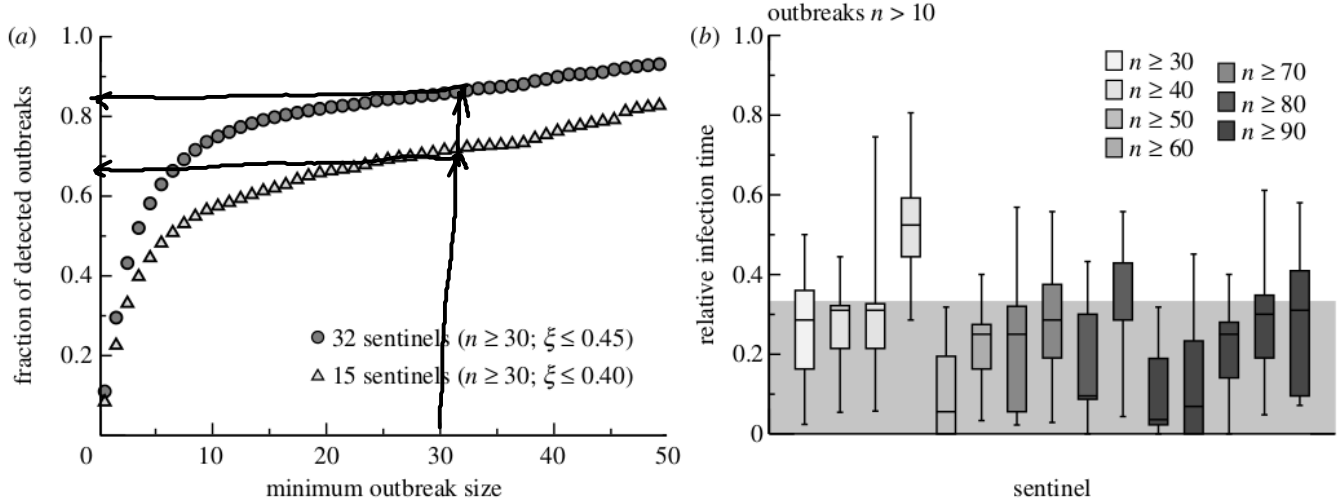


Figure 8. Properties of the surveillance system based on sentinel premises. (a) Fraction of outbreaks detected by the sentinels as a function of the minimum outbreak size of the epidemic, for two sets of sentinels (of 15 and 32 sentinels), corresponding to $(n_s = 30, \xi_s = 0.4)$ and $(n_s = 30, \xi_s = 0.45)$, respectively. (b) Boxplot of the time of infection of the 15 sentinels relative to the full duration of the outbreak, considering the detected outbreaks with final size being larger than 10. Each box is coloured according to the number of times n that the sentinel has been infected and a grey shaded area indicates 33% of the relative infection time.

Bsp: Bei einer akzeptablen Ausbruchgröße von 30 infizierten Knoten werden mit 15/32 Knoten als Sentinels ca. 70% bzw. 85% der Ausbrüche innerhalb von einem Drittel der Ausbruchsdauer detektiert.

Fazit: Einige wenige, geschickt gewählte Knoten lassen fast alle Ausbrüche zu einem frühen Zeitpunkt entdecken.