Social evolution, mask wearing, and epidemics

修格致

IRSGIS, Peking Univ.

2020 年 7 月 10 日

Outline

Introduction

What is the impact of *adaptive social relations* on pandemics

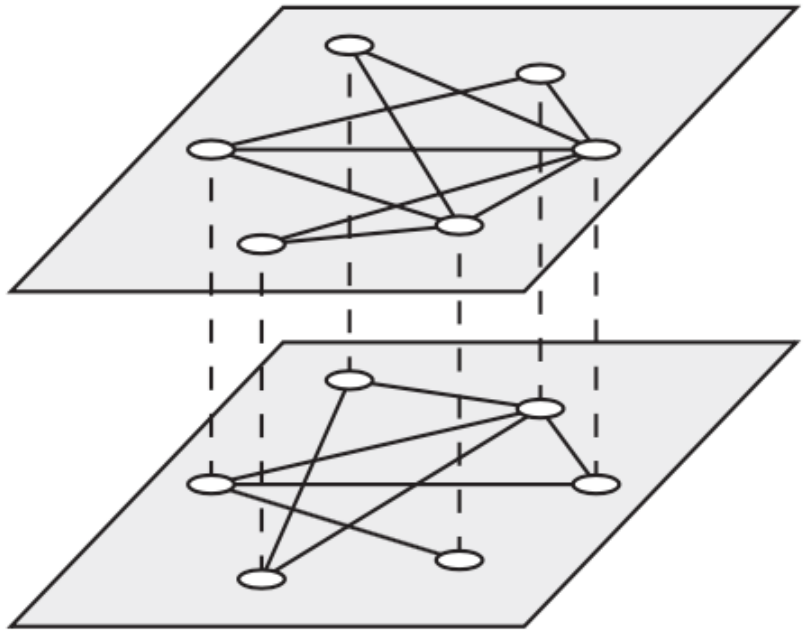
- 'Peer pressure' on wearing protections?
- How you will react to those silly people?

Concerns

- Social structures
- Epidemic spread with protections
- Bifurcations
- **Micro-structure behind epidemic threshold?**

Graph fission

- 演化图：节点恒定，而连边方式随时间变化的图结构。
- Multiplex network：节点给定，而连接属性多于一个。



Graph fission

- 演化图：节点恒定，而连边方式随时间变化的图结构。
- Multiplex network：节点给定，而连接属性多于一个。
- **图裂变：图从连通图变为非连通图的过程。**
  - 常见类型：渗流、voter 模型、Ising 模型、自旋模型等

Graph fission

- 为什么要研究图裂变？
  - 概括性：网络拓扑的演化使得网络的局部性质与全局性质不统一，子采样的结果不再成立
  - 适合性：真实世界中，人们的观点、行为、意识割裂严重，需要合适的数学模型来反映
  - 时态性：由于网络演化的速度不同，不同时段的网络性质的连续变化往往不可以用收敛后的结果来覆盖，而需要合适的收敛速度分析指标。

Graph fission

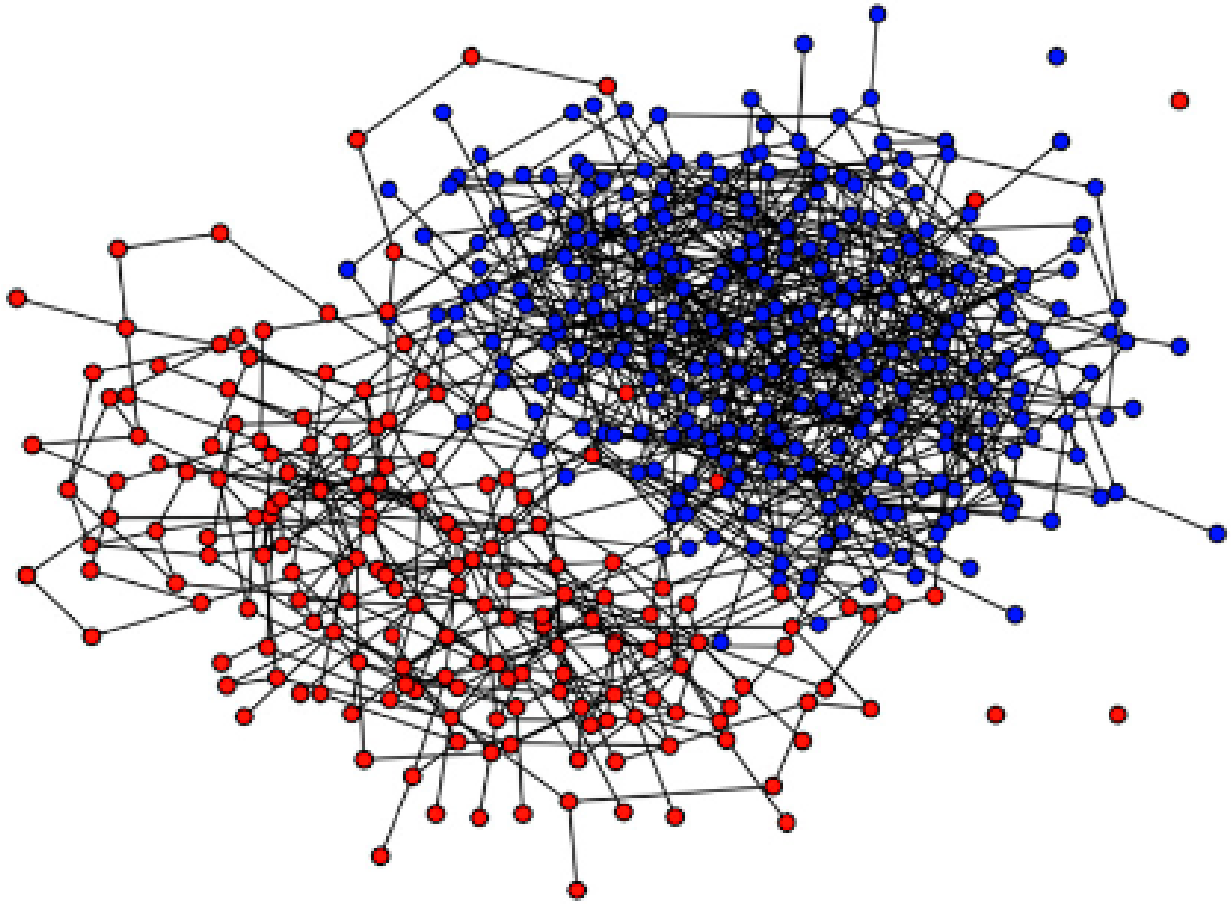


图 1: **Right before Graph fission.** *Graph fission in an evolving voter model, PNAS 2012, Durrett et. al.*

Graph fission & Voter model

一个基本的例子:

- a social network in which individuals have one of two opinions (called 0 and 1)
- their opinions and the network connections coevolve
- 随机在网络中选边，如果边的两侧意见不同:
  - 概率 $1-\alpha$: 一个模仿另一个;
  - 概率 α: 两个人不联系，其中一个人随便找一个别人交往。
    - 子模型 1: 选相同意见的
    - 子模型 2: 随机选人交往
- 最终图可能会分化为两个不相连接的子图。

Graph fission & Epidemics

另一个例子

- The nodes represent individuals, which are either susceptible (S) or infected (I).
- In every time step and for every link connecting an infected with a susceptible (SI link), the susceptible becomes infected with the fixed probability p. The Infected recovers from the disease with probability r, becoming susceptible again.
- Allowing susceptible individuals to protect themselves by rewiring their links. With probability w for every SI link, the susceptible breaks the link to the infected and forms a new link to another randomly selected susceptible.

不公平条件下的社会会面临什么问题？

上述模型中，演化总是**对称的**，即相互同化的概率是相同的。

- 这显然过于理想！

不公平条件下的社会会面临什么问题？

上述模型中，演化总是**对称的**，即相互同化的概率是相同的。

- 这显然过于理想!

- 如果两种意见相互影响的程度不同，结果会怎样？
- 如果两种意见不止控制了一个传播过程，也对另一个传播过程产生影响，结果会怎么样？

我们的模型：口罩驱动社交关系变化

Key:

戴口罩对于人的社交关系和疾病传播都有影响。戴口罩可以降低被传染的风险；也可以让你识别出真正与自己有共同认知的人。

我们的模型：口罩驱动社交关系变化

Key:

戴口罩对于人的社交关系和疾病传播都有影响。戴口罩可以降低被传染的风险；也可以让你识别出真正与自己有共同认知的人。

- 两个效应：
  - 分隔效应：戴口罩跟戴口罩玩，不戴口罩跟不戴的玩。
  - 同化效应：不戴口罩的比戴口罩‘凶’，在线下沟通的时候，不戴口罩的人会越变越多。

我们的模型：口罩驱动社交关系变化

- We consider a network with N nodes representing individuals, and K links representing the social contacts.
- Each of the individuals has two attributes. They are either susceptible (S) or infected (I), and either pro (P) or con (C) for wearing facial masks.
- On a link connecting an I node with an S node, the S node becomes infected with rate μ if the S node is not wearing a mask, and $\gamma\mu$ if the S node wears a mask for $\gamma < 1$. The I node recovers with rate r.
- The interactions also serve as the media of attitudes towards masks. If a link is discordant of the opinions of wearing masks, they become both P nodes with rate β_1, and that of both C nodes with rate $\beta_2 > \beta_1$. They stop seeing each other and one of them finds a new random interaction with rate $1 - \beta_1 - \beta_2$.
    - The random picks studied here lie in two ways, (i) rewire-to-same, i.e., picking a node that shares the same opinion; and (ii) rewire-to-random, i.e., picking a random node over the graph.

Results: Network Topology

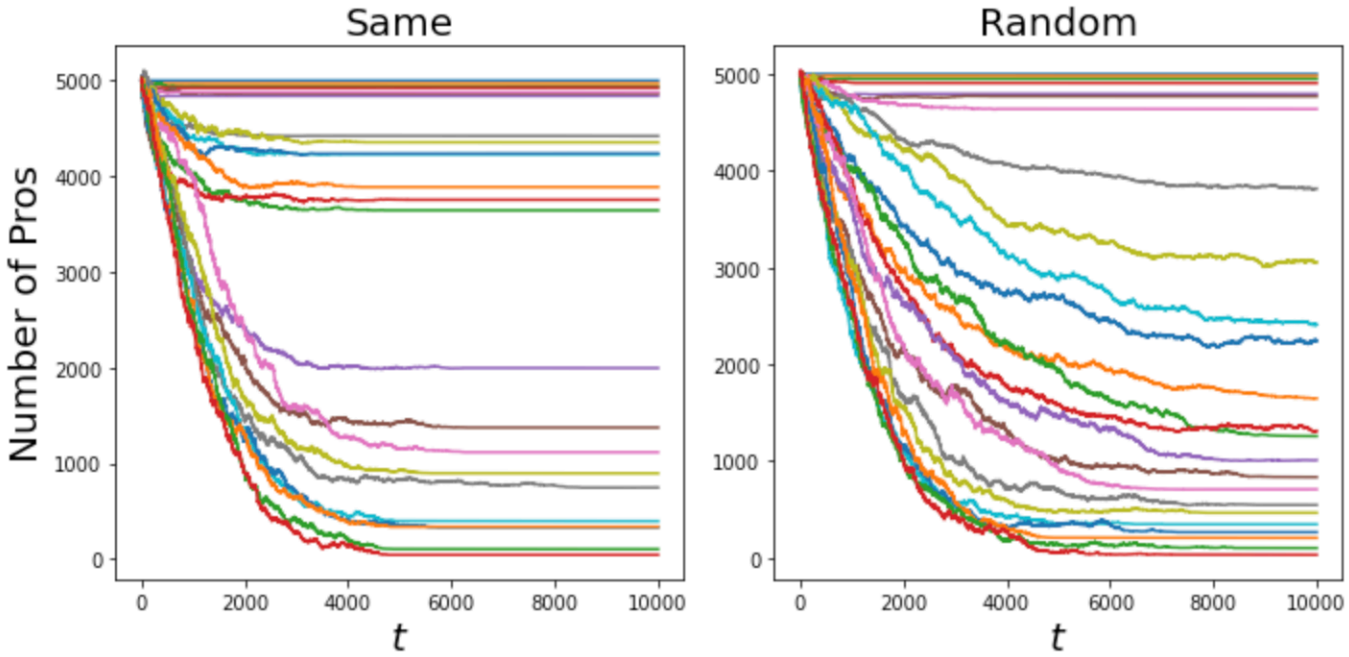


图 2: Supportive for Masks as a function of time.

进一步，戴口罩的人群的连通度也比较低。

社会是否会疏离？

真的会戴口罩与戴口罩玩，不戴口罩跟不戴口罩的玩吗？

- 收敛速度：拟合 + 理论：达到社会共识（不戴口罩）$T \simeq N^{3/2}$
- 是否可以收敛：To illustrate the reason behind this, we recall the voter model on the d-dimensional lattice $\mathbb{Z}^d$ (See Ref [15] for details.): For $d \leq 2$, the voter model convergent complete consensus, i.e., if $x \neq y$, then $P[(\xi_t) \neq \xi_t(y)] \to 0$.

社会分隔，Then what？

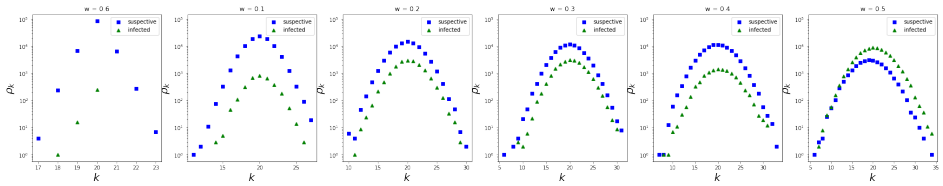
两个群体的 Epidemic threshold 不一样：

- 正常图的临界传播概率设为 p^*.
- 临界条件：$R_0 = p\langle k\rangle/r = 1$
- 有重连：$k(t) = \langle k\rangle \exp(-wt)$，节点患病的期望时间：$1/r$
- 临界传染率：

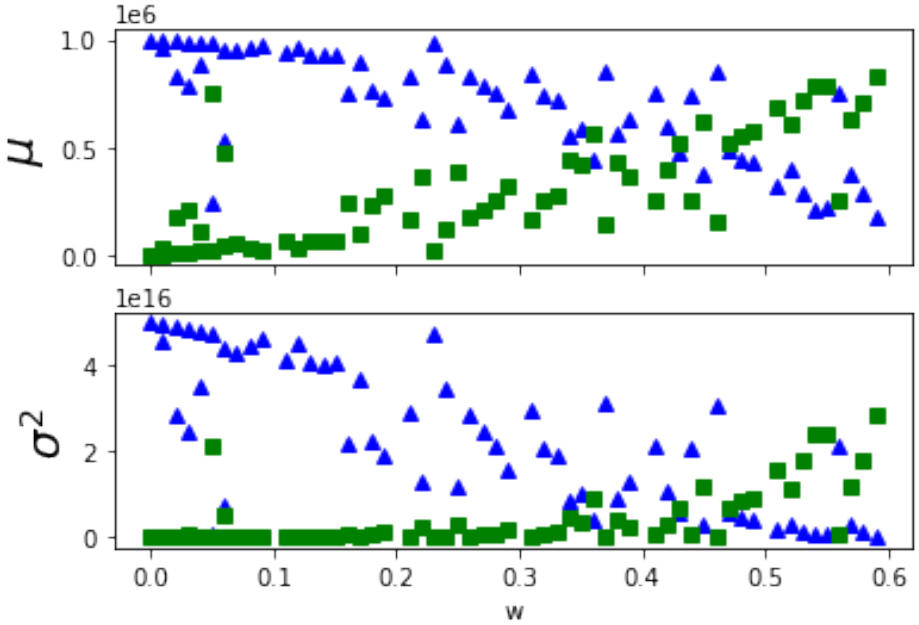
$$p^* = \frac{w}{\langle k\rangle[1-\exp(-w/r)]}$$

戴口罩的人群 p 更低，所以更不容易达到临界传染率。

Degree distribution



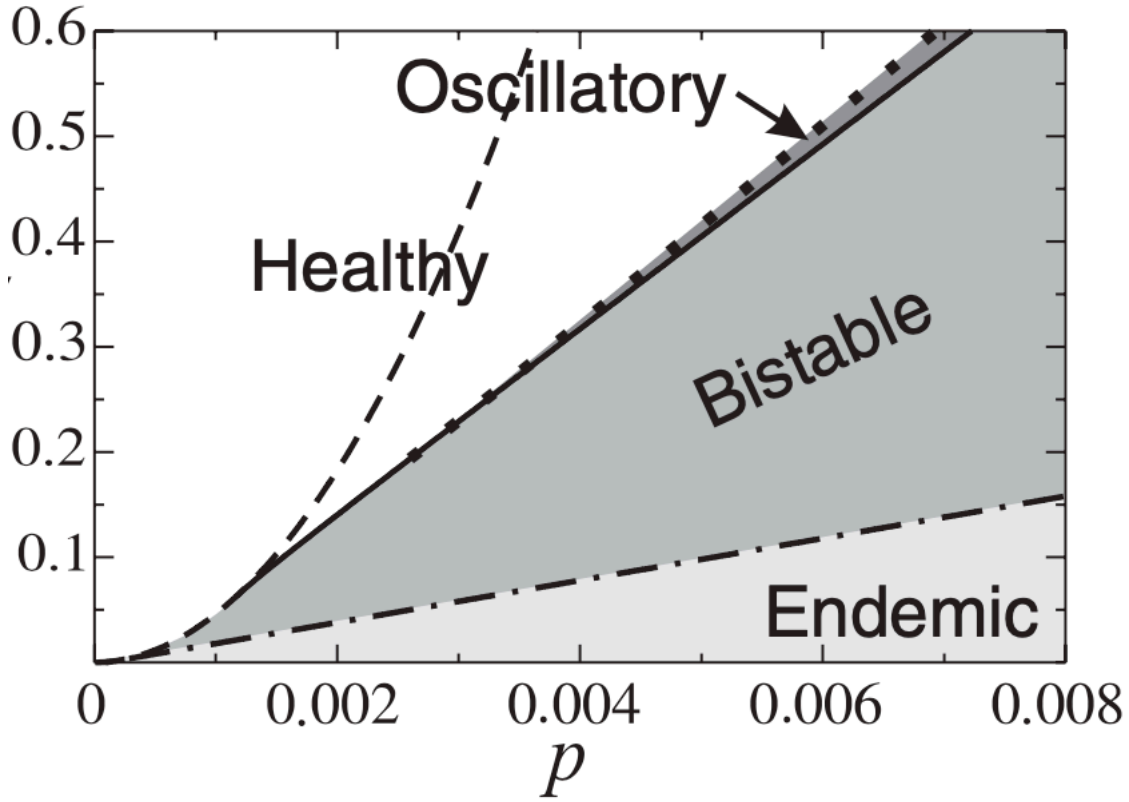
Degree distribution standardized



模型的极限

戴口罩就万事大吉啊了吗？

- 不是的，有可能会出现疾病分岔的局面。



总结：不平等的意义？

- 群体内部的一些不平等实际上有助于确保每个人都有可能不生病
- 即使统计数据失效，小群体内的共识依然是有意义的

什么情况下，不平等有害，什么情况下，不平等也会变得有益？

清者自清