

基于复杂网络的流行病时空传播分析与控制策略

龚雪 成都理工大学地球科学学院 地学空间信息技术国土资源部重点实验室

摘要: 本文在 WS 小世界网络模型的基础上, 结合 GIS 空间分析技术, 构建甲型 H1N1 流感传播的多智能体模型。模型对于完善传染病领域的相关研究, 辅助医疗卫生部门做出决策具有重要意义。

关键词: WS 小世界网络; 甲型 H1N1 流感; Agent; GIS

中图分类号: R181.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-828X(2017)010-0360-01

引言

流行病研究主流方法建立疾病传播的动力学方程, 但方程建立在均匀混合人群的理想状态下, 无法描述真实的社会网络中传播的情况^[1]。由于小世界网络具有聚类系数大、平均距离小的特点, 即使感染强度很小也会引起网络上的广泛传播, 许多社会网络具有小世界的特点, 而流感传播具有社会网络的特点, 研究选取小世界网络对流感时空传播行为特征构建多智能体模型。利用 GIS 对流行病数据进行空间分析, 得出时空传播特征及规律, 为应急预警和追踪监测服务。Agent 能够模拟人的智能行为, 通过微观的智能体的交互作用来模拟流行病在整个社会网络上传播的宏观情况。

一、实现步骤

流感传播的多智能体模型是在研究建立复杂网络与智能体模型的基础上, 考虑人的地理时空特性, 将“个体”人放置在一定的地理环境中, 赋予其空间属性。因此, 将小世界网络、智能体模型与 GIS 集成在模型中, 使用 Repast J 平台, 利用 Java 语言, 将智能体进行动态模拟, 从而动态展示甲流患者在流感传播中的时空特性^[2]。

二、概念模型设计

1. 模型中智能体的分类

根据流感的传播特征, 对经典的 SIR 模型进行改进, 把 Agent 分成五类。提出了 SEITR 模型, 易感人群 Susceptible(S), 暴露人群 Exposed(E), 感染人群 Infectious(I), 治疗人群 Treated(T), 恢复人群 Recovered(R)。治疗人群有两种状态, 一种是患病后就医治疗的人群, 另一种是确诊后需要被隔离的人群, 因为其在隔离期间也接受治疗, 所以这类统称为治疗人群。治愈后的康复人群重新成为普通的 Agent, 由于治疗后的患者具有一定的免疫能力, 所以假定治愈后的康复人群不再被病毒感染。

2. 智能体属性特征

资料显示, 个体年龄、职业等对流感传播有巨大影响。在设定智能体属性时, 一般考虑年龄、职业、教育水平等因素。在判断 Agent 之间是否存在交互感染时, 如果 Agent 年龄在 25-45 岁之间或小于 5 岁和大于 65 岁, 将会有更高的感染几率, 而如职业、教育水平等属性, 在不同程度上影响着被感染的几率。

3. 智能体行为特征

流感主要传播路径是呼吸道飞沫和接触传播, 健康 Agent 与具有传染性的 Agent 在一定的空间范围内接触则就可被传播。如果健康 Agent 和具有传染性的 Agent 在界定的空间距离范围内直接接触, 并满足传播条件, 就确定已经被感染。

4. 模型环境因素

Agent 的环境因素包括社会和自然因素, 社会因素对 Agent 的行为产生影响, 自然因素是对自然空间的一种模拟, 它为 Agent 提供了一定的活动空间。用 Shapefile 格式表达地理空间环境, 包括不

同图层。

5. 节点选择

以往人们针对免疫策略常根据节点在网络中的地位选择。该模型选用三种控制节点方式进行研究: 选取度较大节点、选取随机节点、选取“熟人免疫”节点^[3]。模拟结果较大节点控制率更高。

三、模型结果分析

研究选取感染概率、就医时间、免疫方式为模型的可调影响因素, 并结合实际情况进行调整。为了保证单次模拟结果的准确性, 模型在保持其他参数不变的情况下, 分别进行 10 次模拟, 每次运行时间为三个月, 即 90 个 TICK 取平均值为最后结果, 结果显示, 在无人干预的情况下疫情爆发两周后达到高峰期, 一个月后疫情得到控制并逐渐消亡。但在无人干预的情况下, 感染人数呈指数级增长。在疫情早期实施快速有效的干预手段是降低流感危害的关键。就医时间能较大地影响流感的传播, 控制疫情发展的最佳就医时间为 2 天, 在这期间能够使新增感染数保持在一个较低的水平; 当就医时间大于 2 天时, 新增量较高, 累计感染人数增加较快, 结果表明, 流感传播的高危热点区域经历一个少数零星到多数集中变化过程, 且被感染的智能体多分布于人口密度较大的区域。人口密度大的区域, 潜在接触的人群也就越大, 度较大的节点存在的概率也越高。

四、结语

本文在复杂网络理论指导下, 以甲型 H1N1 流感为例, 结合 GIS 空间分析技术, 构建甲型 H1N1 流感传播的时空模型。利用历史数据对流感传播情况进行反演。结果表明: 模型模拟得出的结果与现实官方公布的数据比较吻合, 但由于时间和能力的限制, 模型没有很好地充分得到测试和调试, 还存在着一定的不确定性, 这也是当前研究的下一步工作重点之一。度较大节点在他们患病后传染给他人的概率较大, 采取隔离控制措施, 如学校停课, 减少集会和出行等。但光控制度较大的节点还不够, 度较小的节点如果在关键位置也会引发疾病大规模的传播。由此提出一种重要的免疫方法: 对比较重点的对象诸如学校师生、医疗相关人员进行免疫接种, 扩大接种范围的随机免疫等, 减小甲流传播范围。

参考文献:

- [1] 张海峰, 傅新楚. 含有免疫作用的 SIR 传染病模型在复杂网络上的动力学行为 [J]. 上海大学学报: 自然科学版, 2007, 13(2): 189-192.
- [2] 郝成民, 刘湘伟, 郭世杰, 等. Repast: 基于 Agent 建模仿真的可扩展平台 [J]. 计算机仿真, 2007, 24(11): 285-288.
- [3] 李向华, 王欣, 高超. 复杂网络免疫策略分析 [J]. 吉林大学学报: 理学版, 2013, 51(3): 444-452.

作者简介: 龚雪 (1993-), 四川成都人, 硕士研究生, 主要从事 3S 应用研究。