

突发传染病防控区域风险评估

刘勇,王笑,杨淑姝

(西安建筑科技大学理学院,陕西西安710055)

摘要:利用图论知识定义社会群体的网络结构,构建树形疫情新发地风险传播网络,结合风险评估模型,将疫情新发地的区域分为高、中、低三个风险等级,通过数据仿真验证划分方法的合理性。构建的树形区域风险传播网络能较好的描述疫情新发地社会网络关系中的疫情传播情况,利用确定区域节点之间的相关函数和节点风险值构建的疫情分类模型,刻画发生疫情区域的周边区域的风险等级,为疫情防控工作主动性、精准性及系统性提供理论依据。

关键词:树形社会网络;风险评估;关联函数;分级分区

中图分类号:O157.6; R181.8 **文献标志码:**A

引用格式:刘勇,王笑,杨淑姝.突发传染病防控区域风险评估[J].山东大学学报(理学版),2025,60(7):48-55,68.

Regional risk assessment on the prevention and control of emerging infectious diseases

LIU Yong, WANG Xiao, YANG Shushu

(Department of Mathematics, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, Shaanxi, China)

Abstract: Using graph theory knowledge, the social group's network structure is defined in this text. A tree-shaped risk transmission network for the newly discovered epidemic site is constructed. Combining a risk assessment model, the epidemic site is divided into three risk levels: high, medium, and low. The rationality of the classification method is verified through data simulation. The results indicate that the constructed tree-structured regional risk propagation network can effectively depict the epidemic transmission within the social network of newly affected areas. By determining the correlation functions among regional nodes and constructing a risk classification model based on node risk values, the occurrence of epidemics in surrounding areas can be scientifically characterized. This model facilitates the proactive, precise, and systematic basis for epidemic prevention and control efforts.

Key words: tree social networks; risk assessment; associative functions; hierarchical zoning

0 引言

随着全球化进程的不断加深,突发传染病成为国际社会关注的焦点之一。这些疾病可能在短时间内迅速蔓延,对社会、经济和卫生系统造成严重影响。为有效应对突发传染病的威胁,必须深入研究防控策略,尤其是在特定区域内进行风险评估。因此,科学划分疫情风险等级、分级分区精准防控,对预防并控制传染病的传播至关重要。

社会网络^[1]是将行动者的社会关系进行连接组成的一个复杂网络^[2]。张明智等^[3]结合复杂网络中的思路,在人际关系网络基础上构建可用于虚拟社会系统建模仿真的人际关系网络模型;MOORE等^[4]通过小世界网络模型研究传染病的传播特点,发现小世界性质会使传染病的传播速度加快;HUANG等^[5]基于SIR传播模型在无标度网络中研究具有相同传染性的病毒传播动力学行为。

以上从复杂网络角度出发对传染病的传播进行了多方面的研究,但未从复杂网络角度对区域风险的风险等级划分进行过研究。因此,本文利用图论的相关知识,构建树形区域风险传播网络,并结合风险评估的

方法,将疫情新发地各区域划分为高、中、低三种风险等级,为疫情防控综合研判、风险等级划分、精准防控提供科学方法。

1 疫情新发地区域风险传播网络构建

树形网络在预防传染病传播方面起着至关重要的作用,可用于描述社会网络^[6-7]。现实社会以个体、家庭、楼栋、小区、县、市……为单位划分,同一划分单位下,各区域之间必定存在某种直接或间接的联系,且与某一个区域直接联系的区域个数不等,故社会网络可用树形网络描述。现实世界中很多网络都是含权和有向的,行动者之间的社会关系有强弱,行动者发生疫情的风险有大小,真实的传染病传播有方向,因此,有向含权的树形网络更加适合用来描述真实社会中疫情发生风险的传播。

1.1 疫情新发地社会网络的构建

树^[8]是连通的、无向的且不包含闭合回路的网络^[9]。设树形网络为 $G(V, E)$, V 为树形网络中的节点集合, E 为树形网络中的边集合。

有向加权树形网络是指节点之间既有方向又有权重的树形网络。在有向的树形网络中,如果一个节点与另一个节点直接相连,且层数高于另一个节点,则这个节点称为另一个节点的父节点,另一个节点称为这个节点的子节点。

假设 n 为有向树形网络的层数,树形网络构造^[10]如下:当 $n=0$ 时,从一个节点开始,并将它作为网络的根节点;当 $n=1$ 时,若干个新节点加入网络中并与根节点连接;从 $n=2$ 开始,每个 $n-1$ 层的节点,将有若干个新的节点与它连接,直至所有的节点都被包含在树形网络中。

节点的度 k_m 定义为与此节点连接的边的数量。对于有向图来说,根据边 l 的方向,将节点 m 的度分为入度 k_m^{in} 和出度 k_m^{out} 。 k_m^{in} 是以节点 m 为终点的有向边数量, k_m^{out} 是以节点 m 为起点的有向边数量。

含权网络的权分为边权 $w_{m,s}$ 和点权 s_m 。 $w_{m,s}$ 是指节点 m 和节点 s 之间连接的权重($w_{m,s} \neq w_{s,m}$, 当 $m \rightarrow s$ 有连接,则 $w_{m,s} \neq 0$, 反之为 0; $s \rightarrow m$ 亦然),点权 s_m 是指节点 m 的强度。对于有向图来说,点权分为点入权 s_m^{in} 和点出权 s_m^{out} , s_m^{in} 是指所有到达节点 m 的边的权重之和, s_m^{out} 是指所有从节点 m 出发的边的权重之和。

假设实际疫情新发地的社会网络结构为一个树形网络图 $G(V, E)$, 定义节点为疫情新发地的区域(区域划分单位一致且相对独立), 记为 v_m ; 边为 2 个区域之间的社会关联, 边权为区域之间关联大小, 定义为关联函数, 记为 $L_{m,s}$ 。

1.2 疫情新发地区域风险传播网络的构建

当社会网络中有区域发生疫情, 定义节点入权为区域发生疫情的风险, 即区域风险值, 用 p 表示, 发生疫情的区域(节点)风险值为 1, 其余区域(节点)风险值暂定为 0; 边的方向定义为疫情的传播方向。整个疫情新发地区域间的风险传播变成一个有向含权的树形网络。

2 疫情等级划分模型的建立

当某个区域发生疫情时, 应尽快对发生疫情区域以及相关区域进行风险评判, 采取相应的管控措施, 遏制疫情发展, 因此, 不同区域风险等级的划分是疫情防控的基础。一个区域发生疫情将会影响其相关联的所有区域, 受影响的区域接着影响其相关联的所有区域, 2 个地区间的关联强度也直接决定区域所受疫情影响的大小。分析 2 个区域间的关联函数和各区域风险函数, 能确定整个树形社会网络中各区域的风险值, 再根据风险等级划分标准, 确定各区域风险等级, 对各风险等级采取相应的管控措施。

2.1 风险关联函数的确定

2 个区域间关联函数反映 2 个区域之间的联系, 关联函数的确定受多方面因素影响, 根据各区域及相关人员安全且对经济影响最小的原则, 选取 t 个影响 2 个区域间关联强度的重要指标(比如: 2 个区域之间的距离、人员流动、经济来往等), 利用 CRITIC 方法(criteria importance though intercriteria correlation, CRITIC), 客观确定指标权重, 从而确定 2 个区域间的关联。

CRITIC 法^[11]是一种考虑指标相关性影响的客观赋权方法, 是基于评价指标的对比强度和指标之间的

冲突性来综合衡量指标的权重,考虑指标变异性的的大小并兼顾指标间的相关性,利用数据自身的客观属性进行科学判断的方法^[12]。

步骤 1 数据整理。设共有 t 个指标,将第 i 个指标数据整理为矩阵

$$\mathbf{B}_i = \begin{pmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1h} \\ \vdots & & \vdots \\ b_{h1} & \cdots & b_{hh} \end{pmatrix},$$

式中, h 为区域个数, b_{ms} 为 m 与 s 2 个区域间的指标 i 的原始数据。

步骤 2 无量纲化处理^[13], 本文采用极差标准化的方法, 得到标准化后矩阵

$$\mathbf{S}_i = \begin{pmatrix} s_{11} & \cdots & s_{1h} \\ \vdots & & \vdots \\ s_{h1} & \cdots & s_{hh} \end{pmatrix},$$

式中, $s_{i(ms)}$ 为无量纲化后数据, $s_{i(ms)} = \frac{b_{i(ms)} - \min(b_{i(ms)})}{\max(b_{i(ms)}) - \min(b_{i(ms)})}$ (若 b_{ms} 的大小与风险呈正比); $s_{i(ms)} = \frac{\max(b_{i(ms)}) - b_{i(ms)}}{\max(b_{i(ms)}) - \min(b_{i(ms)})}$ (若 b_{ms} 的大小与风险呈反比)。

步骤 3 利用标准差 P_i 和指标之间的相关性 R_i 确定指标的对比强度和指标之间的冲突性, 即

$$\bar{S}_i = \frac{1}{hh \sum_{s=1}^{hh} s_{i(ms)}},$$

$$P_i = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^{hh} (s_{i(ms)} - \bar{S}_i)^2}{hh - 1}},$$

$$R_i = \sum_{j=1}^t (1 - r_{ij}),$$

式中, \bar{S}_i 表示第 i 个指标的平均值, P_i 表示第 i 个指标的标准差, r_{ij} 表示评价指标 i 和 j 之间的相关系数。

使用标准差表示各指标的变异性或取值差异的波动情况, 标准差越大, 表示该指标的数值差异越大, 反映的信息越多, 该指标的评价强度就越强, 分配的权重就越多; 指标间的相关性用相关系数表示, 与其他指标的相关性越强, 该指标就与其他指标的冲突性越小, 说明 2 个指标反映出相同的信息越多, 该指标评价强度就越小, 该指标的权重越小。

步骤 4 通过各指标的信息量 C_i 确定客观权重 W_i , 即

$$C_i = P_i \sum_{j=1}^t (1 - r_{ij}) = P_i R_i,$$

$$W_i = \frac{C_i}{\sum_{i=1}^t C_i},$$

式中, C_i 越大, 第 i 个评价指标在整个评价指标体系中的作用越大, 分配的权重越多, 反之则相反。

步骤 5 对标准化矩阵进行加权处理, 加权标准化矩阵 $\mathbf{R} = (r_{i(ms)})_{t(hh)}$, 其中 $r_{i(ms)} = w_i s_{i(ms)}$, w_i 即为前述方法确定的指标权重。

综上, 将 2 个区域间的指标数据定义为未知量, 即 S_i 也为未知量, 则 2 个区域间的关联函数为

$$L_{m,s} = \sum_{i=1}^t w_i s_{i(ms)} \circ \quad (1)$$

2.2 节点风险值及风险函数的确定

若某节点(区域)发生疫情, 则该节点作为树形网络中的一父节点, 风险值为 1, 与该节点相关的节点为其子节点, 2 者形成风险传递方向, 之后任意 2 个相关节点风险传递方向也随之确定, 整个社会变成一个有向^[14]的树形网络。实际社会发生疫情的区域可能不止一个, 一个区域也可能不止受一个区域的影响。

响,即一个子节点可能不止一个父节点,且在树形网络中,子节点的风险值仅与其父节点有关,与其他节点无关。

从风险值为 1 的节点出发,计算此子节点的风险值,计算方法如下。

若该节点仅有一个父节点,假设节点 s 的父节点为节点 m ,则 s 的风险值定义为父节点的风险值与关联函数的乘积,即

$$p_n = L_{m,n} p_m \quad (2)$$

若该节点的父节点不止一个,定义 $\pi(s_i)$ 为 s 的父节点集^[15],则 s 的风险值定义为 s 的所有父节点 s_i 与其关联函数的乘积和(其中涉及到的关联函数做归一化处理),即:

$$l_{n_i,n} = \frac{L_{n_i,n}}{\sum_{n_i \in \pi(n_i)} L_{n_i,n}},$$

$$p_n = \sum_{n_i \in \pi(n_i)} l_{n_i,n} L_{n_i,n} p_{n_i} = \sum_{n_i \in \pi(n_i)} \frac{L_{n_i,n}^2 p_{n_i}}{\sum_{n_i \in \pi(n_i)} L_{n_i,n}} \quad (3)$$

再从已得风险值的各节点出发,找到与之相连的子节点,利用式(2)、(3)计算并得到其子节点的风险值,以此类推,直至得到整个树形结构网络中所有节点的风险值。

式(3)为区域风险函数,当该区域风险值达到划分阈值时,对该区域采取相应的防控策略,及时遏制疫情的发展。

2.3 风险等级的划分

依据风险值的计算结果及专家意见,本研究风险等级采用高风险、中风险和低风险三级制,当 $p \geq p_{s1}$ 时,为高风险区域;当 $p_{s2} \leq p < p_{s1}$ 时,为中风险区域,当 $p < p_{s2}$ 为低风险区域。根据计算所得各节点的风险值,依照划分标准,将所有节点所代表的区域进行风险等级的划分,最终将研究的整个区域划分为高、中、低三个等级,并按等级对各区域进行分区施策、精准防控。

3 实验

3.1 树形社会网络下区域风险等级的划分

任选疫情新发地中一个区域作为树形网络中的节点 v_1 :从该 v_1 开始,将与 v_1 有直接关联的区域作为节点 v_2 、 v_5 、 v_8 和 v_{10} 加入网络并与 v_1 相连接;再从刚加入网络的节点开始,与这些刚加入网络中的节点有直接关联的区域作为节点加入网络并与这些区域相连接,直至疫情新发地中所有区域都作为节点包含在网络中为止。利用 MATLAB 仿真,构造如图 1 所示的树形社会网络,此树形社会网络为 3 层,31 个节点,连接各节点的节点个数为 1~8 不等,构造出的树形网络符合社会网络的区域分布。

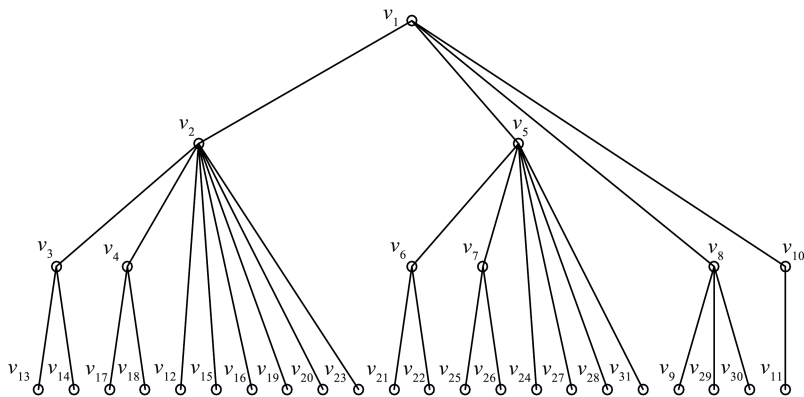


图 1 树形社会网络
Fig.1 Tree social network

选取 2 个区域间的距离、人员流动、经济、交通便利程度和物流强度作为影响 2 个区域之间关联强度的

指标。2个区域之间的距离越近,交流和合作的可能性就越大。人员流动是指人员在2个区域之间的迁移、旅游、交流等活动,人员流动的频率和规模越大,2个区域之间的联系就越紧密。2个区域之间的经济联系包括贸易、投资、产业合作等方面,经济联系的紧密程度直接影响2个区域之间的关系。交通便利程度是2个区域之间交流和合作的重要保障,直接影响2个区域之间的交流和合作。物流强度是影响2个区域之间贸易和产业合作的重要因素,物流强度越高,2个区域之间的交流和贸易就越便利,商品和服务的流动也就越顺畅。

MATLAB 构造出原始指标数据,并通过 CRITIC 法计算出各指标权重,结合关联函数计算出任2个相关节点的关联强度:

$$L_{1,2} = 0.5215, L_{1,5} = 0.4007, L_{1,8} = 0.6611, L_{1,10} = 0.5126;$$

$$L_{2,3} = 0.7579, L_{2,4} = 0.2439, L_{2,12} = 0.7030, L_{2,15} = 0.2278, L_{2,16} = 0.5766, L_{2,19} = 0.3982, L_{2,20} = 0.5242, L_{2,23} = 0.5472;$$

$$L_{3,13} = 0.5165, L_{3,14} = 0.3718;$$

$$L_{4,17} = 0.2628, L_{4,18} = 0.3723;$$

$$L_{5,6} = 0.6441, L_{5,7} = 0.5614, L_{5,24} = 0.3610, L_{5,27} = 0.3997, L_{5,28} = 0.2835, L_{5,31} = 0.5339,$$

$$L_{6,21} = 0.3401, L_{6,22} = 0.5612;$$

$$L_{7,25} = 0.5305, L_{7,26} = 0.4363;$$

$$L_{8,9} = 0.3476, L_{8,29} = 0.2078, L_{8,30} = 0.3478;$$

$$L_{10,11} = 0.4638。$$

情况 1 一个区域发生疫情。

假设 v_1 发生疫情, $p_1 = 1$, 形成的有向树形网络如图 2 所示。

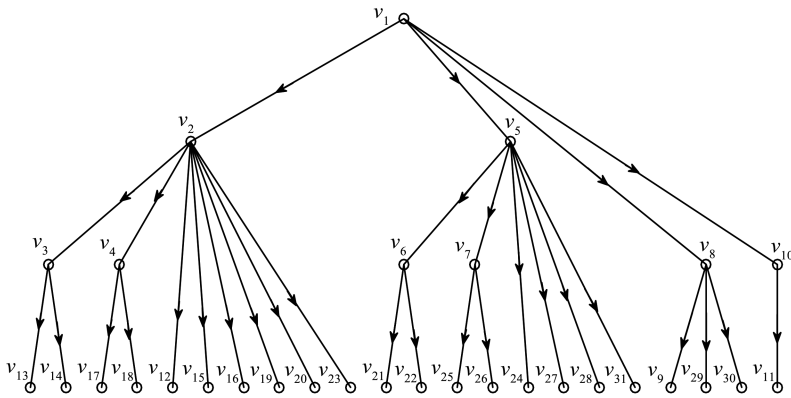


图 2 v_1 发生疫情时树形社会网络
Fig.2 Tree social network during an epidemic of v_1

从节点 v_1 出发,计算并得到其他节点的风险值:

$$p_1 = 1, p_2 = 0.5215, p_3 = 0.3952, p_4 = 0.1217, p_5 = 0.4007, p_6 = 0.2581, p_7 = 0.2250, p_8 = 0.6611, p_9 = 0.2298, p_{10} = 0.5126, p_{11} = 0.2419, p_{12} = 0.3666, p_{13} = 0.2041, p_{14} = 0.1469, p_{15} = 0.1188, p_{16} = 0.3007, p_{17} = 0.0334, p_{18} = 0.0474, p_{19} = 0.2077, p_{20} = 0.2734, p_{21} = 0.0878, p_{22} = 0.1448, p_{23} = 0.2854, p_{24} = 0.1447, p_{25} = 0.1194, p_{26} = 0.0982, p_{27} = 0.1602, p_{28} = 0.1136, p_{29} = 0.1374, p_{30} = 0.2299, p_{31} = 0.2139。$$

本文采用小数形式的等级划分标准,将风险等级划分阈值确定为 $p_{s1} = 0.7, p_{s2} = 0.4$ 。根据计算得到的各风险值和风险等级划分标准,可得到各节点的风险等级的划分: v_1 为高风险区域, v_2, v_5, v_8, v_{10} 为中风险区域, $v_3, v_4, v_6, v_7, v_9, v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_{14}, v_{15}, v_{16}, v_{17}, v_{18}, v_{19}, v_{20}, v_{21}, v_{22}, v_{23}, v_{24}, v_{25}, v_{26}, v_{27}, v_{28}, v_{29}, v_{30}, v_{31}$ 为低风险区域。

情况 2 任意 2 个区域发生疫情。

假设 v_1 和 v_6 发生疫情, $p_1 = 1, p_6 = 1$, 形成的有向树形网络如图 3 所示。

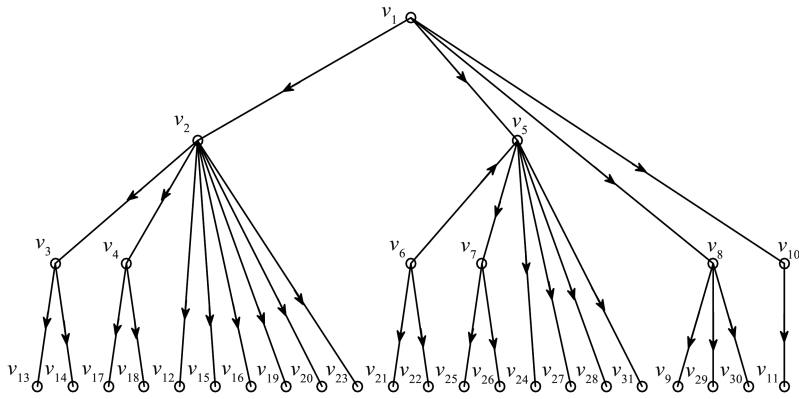


图 3 v_1, v_6 发生疫情时树形社会网络
Fig.3 Tree social network during an epidemic of v_1, v_6

从 v_1 和 v_6 这 2 个节点出发,计算并得到其他节点的风险值:

$$\begin{aligned}
 & p_1 = 1, p_2 = 0.5215, p_3 = 0.3952, p_4 = 0.1217, p_5 = 0.5505, p_6 = 1, p_7 = 0.3091, p_8 = 0.6611, \\
 & p_9 = 0.2298, p_{10} = 0.5126, p_{11} = 0.2419, p_{12} = 0.3666, p_{13} = 0.2041, p_{14} = 0.1469, p_{15} = 0.1188, \\
 & p_{16} = 0.3007, p_{17} = 0.0334, p_{18} = 0.0474, p_{19} = 0.2077, p_{20} = 0.2734, p_{21} = 0.3407, p_{22} = 0.5612, \\
 & p_{23} = 0.2854, p_{24} = 0.1987, p_{25} = 0.1640, p_{26} = 0.1347, p_{27} = 0.2200, p_{28} = 0.1561, p_{29} = 0.1374, \\
 & p_{30} = 0.2299, p_{31} = 0.2939.
 \end{aligned}$$

根据风险等级划分标准可得: v_1, v_6 为高风险区域, $v_2, v_5, v_8, v_{10}, v_{22}$ 为中风险区域, $v_3, v_4, v_7, v_9, v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_{14}, v_{15}, v_{16}, v_{17}, v_{18}, v_{19}, v_{20}, v_{21}, v_{23}, v_{24}, v_{25}, v_{26}, v_{27}, v_{28}, v_{29}, v_{30}, v_{31}$ 为低风险区域。

3.2 非树形社会网络下区域风险等级的划分

改动实验 1 构造的树形社会网络,使其变成非树形社会网络,并给出非树形社会网络中圈图^[16]节点风险值的计算方法,再分别讨论有一个节点发生疫情时和有两个节点发生疫情时的 2 种情况,使仿真实验更加符合实际情况。

在构造的树形社会网络的基础上,利用 MATLAB 软件构造出如图 4 所示的非树形社会网络,节点 1、2、6、5 和他们之间的边构成了一个圈;节点 5、6、7 和他们之间的边构成了一个圈;节点 1、2、6、7、5 和他们之间的边构成了一个圈。

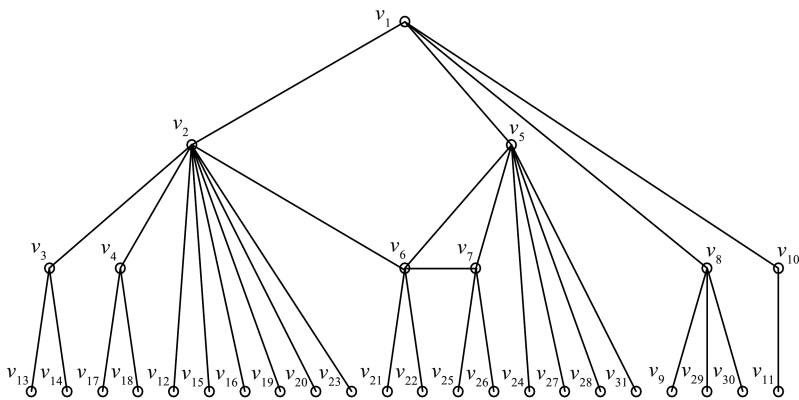


图 4 非树形社会网络
Fig.4 Non-tree social network

非树形网络中有圈的存在,圈中节点风险值的计算方法与普通节点的计算方法有所不同,下面是圈中节点的计算方法,主要分为不同层节点风险值的计算和同层节点风险值的计算。

不同层节点风险的传递方向是由父节点传递到子节点的,则风险的传递为单向,利用式(2)、(3)计算节点风险值。

同层节点若有连接,则二者之间没有先后顺序,可相互影响,风险传递方向为双向,二者互为父子关系;所有节点仅受其父节点影响,则该节点的风险值仅与其父节点相关,且父节点的风险值不受该节点的影响。

因此,各节点风险值的计算方法与树形社会网络的节点计算方法相同。

节点 2、6 和节点 6、7 之间的关联强度为 $L_{2,6}=0.3689$ 、 $L_{6,7}=0.2653$ 。

分 2 种情况讨论,得到有向树形网络图如图 5、图 6 所示。

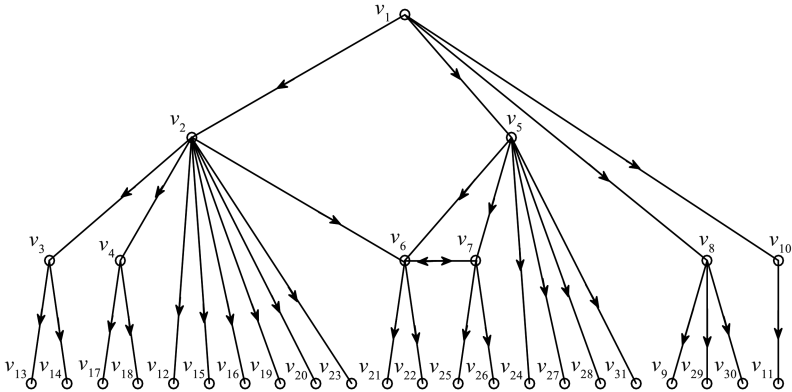


图 5 v_1 发生疫情时非树形社会网络
Fig.5 Non-tree social network during an epidemic of v_1

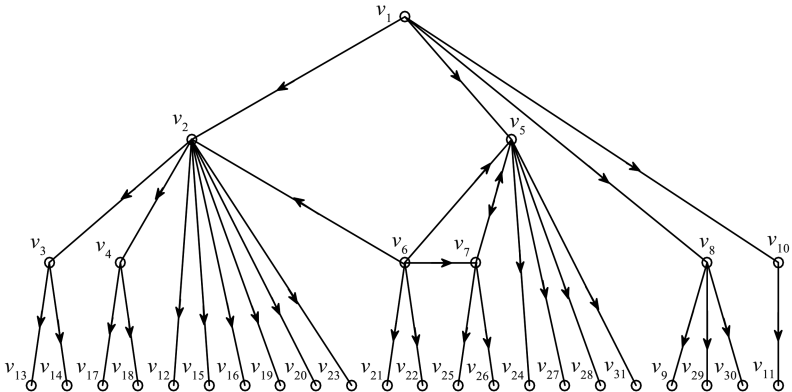


图 6 v_1, v_6 发生疫情时非树形社会网络
Fig.6 Non-Tree social network during an epidemic of v_1, v_6

情况 1 任意 1 个区域发生疫情。

假设 v_1 发生疫情, $p_1=1$, 形成的有向树形网络如图 5 所示。

从节点 v_1 出发, 计算并得到其他节点的风险值:

- $p_1=1, p_2=0.5215, p_3=0.3952, p_4=0.1217, p_5=0.4007, p_6=0.2044, p_7=0.1727, p_8=0.6611,$
- $p_9=0.2298, p_{10}=0.5126, p_{11}=0.2419, p_{12}=0.3666, p_{13}=0.2041, p_{14}=0.1469, p_{15}=0.1188,$
- $p_{16}=0.3007, p_{17}=0.0334, p_{18}=0.0474, p_{19}=0.2077, p_{20}=0.2734, p_{21}=0.0695, p_{22}=0.1147,$
- $p_{23}=0.2854, p_{24}=0.1447, p_{25}=0.0916, p_{26}=0.0753, p_{27}=0.1602, p_{28}=0.1136, p_{29}=0.1374,$
- $p_{30}=0.2299, p_{31}=0.2139。$

根据风险等级划分标准可得: v_1 为高风险区域, v_2, v_5, v_8, v_{10} 为中风险区域, $v_3, v_4, v_6, v_7, v_9, v_{11}, v_{12}, v_{13}, v_{14}, v_{15}, v_{16}, v_{17}, v_{18}, v_{19}, v_{20}, v_{21}, v_{22}, v_{23}, v_{24}, v_{25}, v_{26}, v_{27}, v_{28}, v_{29}, v_{30}, v_{31}$ 为低风险区域。

情况 2 任意 2 个区域发生疫情。

假设 v_1 和 v_6 发生疫情, $p_1=1, p_6=1$, 形成的有向树形网络如图 6 所示。

从 v_1 和 v_6 这 2 个节点出发, 计算并得到其他节点的风险值:

- $p_1=1, p_2=0.4471, p_3=0.3389, p_4=0.1090, p_5=0.4103, p_6=1, p_7=0.2950, p_8=0.6611,$
- $p_9=0.2298, p_{10}=0.5126, p_{11}=0.2419, p_{12}=0.1639, p_{13}=0.1750, p_{14}=0.1260, p_{15}=0.1018,$
- $p_{16}=0.2578, p_{17}=0.0286, p_{18}=0.0406, p_{19}=0.1759, p_{20}=0.2344, p_{21}=0.3401, p_{22}=0.5612,$
- $p_{23}=0.2447, p_{24}=0.1481, p_{25}=0.1565, p_{26}=0.1287, p_{27}=0.1640, p_{28}=0.1163, p_{29}=0.1374,$
- $p_{30}=0.2299, p_{31}=0.2273。$

根据风险等级划分标准可得: v_1 、 v_6 为高风险区域, v_2 、 v_5 、 v_8 、 v_{10} 、 v_{22} 为中风险区域, v_3 、 v_4 、 v_7 、 v_9 、 v_{11} 、 v_{12} 、 v_{13} 、 v_{14} 、 v_{15} 、 v_{16} 、 v_{17} 、 v_{18} 、 v_{19} 、 v_{20} 、 v_{21} 、 v_{23} 、 v_{24} 、 v_{25} 、 v_{26} 、 v_{27} 、 v_{28} 、 v_{29} 、 v_{30} 、 v_{31} 为低风险区域。

4 结论

本文利用图论知识对疫情新发区域构建树形社会网络,结合风险评估划分风险等级,并对此方法进行实验分析,验证了划分方法的合理性。

(1) 用有向含权树形网络描述疫情新发地区域风险传播网络,节点代表各区域,节点之间相对独立,节点之间的边代表2个区域之间的关联,再通过确定2个区域之间的关联和节点的风险划分节点风险等级,可以较好的描述社会网络中疫情发生风险的传播状况。

(2) 在算例分析中分别讨论在树形社会网络结构和非树形网络结构中一个节点发生疫情和2个节点发生疫情的情况下,不同节点的风险的计算原理,给出了节点的风险等级计算方法,并对其推广构造出更加符合社会关系的非树形网络结构模型,计算不同节点的风险等级及划分,为我国在疫情防控中不同区域疫情的风险等级快速判断提供理论依据。

(3) 本文的模型虽能够很好的划分区域风险等级,但未对区域的具体范围进行定义,比如:街区、居民小区、单位、楼栋等。由于实际数据没有获得,在研究过程中区域信息用节点表示,做数值模拟研究传染病的扩散风险。

参考文献:

- [1] DEKKER A. Applying social network analysis concepts to military C4ISR architectures[J]. Connections, 2002, 24(3):93-103.
- [2] ALBERT R, JEONG H, BARABASI A L. Error and attack tolerance of complex networks[J]. Nature, 2000, 406(27):378-382.
- [3] 张明智,余永阳,胡晓峰,等. 虚拟社会仿真中的人际关系网络模型研究[J]. 计算机仿真,2009 26(2):14-17.
ZHANG Zhizhi, YU Yongyang, HU Xiaofeng, et al. Research on interpersonal network model in virtual social simulation[J]. Computer Simulation, 2009, 26(2):14-17.
- [4] MOORE C, NEWMAN M E. Epidemics and percolation in small-world networks.[J]. Physical Review E, Statistical Physics, Plasmas, Fluids, and Related Interdisciplinary Topics, 2000, 61(5):5678-5682.
- [5] HUANG Q, MIN L Q, CHEN X. Susceptible-infected-recovered models with natural birth and death on complex networks[J]. Mathematical Methods in the Applied Sciences, 2015, 38(1):37-50.
- [6] SUNGJIN K, EUIHO S, YOUNGJOON J. Building a knowledge brokering system using social network analysis: a case study of the Korean financial industry[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(12):14633-14649.
- [7] JENNIFER G, MARCY S, HEATHER K F. Evaluating form and function of regional partnerships: applying social network analysis to the network for a healthy california, 2001—2007[J]. Journal of Nutrition Education and Behavior, 2011, 43(4):1-7.
- [8] 张清华. 图论及其应用[M]. 北京:清华大学出版社,2013:1-86.
ZHANG Qinghua. Graph theory and its application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2013:1-86.
- [9] 杜莎. 实证研究树状网络的演化博弈[D]. 上海:华东师范大学,2015.
DU Sha. An empirical study on the evolutionary game of tree networks[D]. Shanghai: East China Normal University, 2015.
- [10] 孙亚周. 有关树状网络的研究[D]. 天津:河北工业大学,2010.
SUN Yazhou. Research on tree network[D]. Tianjin: Hebei University of Technology, 2010.
- [11] DIAKOULAKI D G, MAVROTAS L. Determining objective weights in multiple criteria problems: the critic method[J]. Computers and Operations Research, 1995, 22(7):763-770.
- [12] 傅为忠,储刘平. 长三角一体化视角下制造业高质量发展评价研究——基于改进的 CRITIC-熵权法组合权重的 TOPSIS 评价模型[J]. 工业技术经济,2020,39(9):145-152.
FU Weizhong, CHU Liuping. Research on the evaluation of high-quality development of manufacturing industry from the perspective of Yangtze River Delta integration——TOPSIS evaluation model based on improve CRITIC-entropy weight combination weighting[J]. Industrial Technology Economy, 2020, 39(9):145-152.
- [13] 李伟伟,易平涛,李玲玉. 综合评价中异常值的识别及无量纲化处理方法[J]. 运筹与管理,2018,27(4):173-178.
LI Weiwei, YI Pingtao, LI Lingyu. Identification of outliers and dimensionless treatment methods in comprehensive evaluation [J]. Operations Research and Management, 2018, 27(4):173-178.