

基于亲密度的投资者交互网络模型研究

江 玥, 沐年国

上海理工大学, 上海

收稿日期: 2021年12月8日; 录用日期: 2022年1月22日; 发布日期: 2022年1月29日

摘 要

在传染病SIR模型基础上, 将节点扩展为未知者、怀疑者、传播者、免疫者, 并考虑投资者间强弱关系的传播差异性, 引入亲密度的概念使个体实现动态转移, 构建投资者网络信息传播模型, 该模型更贴合真实投资市场中交易者的信息传播特性, 结果表明: 信息的传播能力会随着投资者接受信息的次数以及节点间亲密度增大而增大, 减少投资者之间的相互接触以及加强投资者的流动性, 有助于抑制信息肆意传播, 可以为现实中证券市场的管控提供一定理论参考。

关键词

投资者网络, SEIR模型, 亲密度, 信息传播

Research on Investor Interaction Network Model Based on Intimacy

Yue Jiang, Nianguo Mu

University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Dec. 8th, 2021; accepted: Jan. 22nd, 2022; published: Jan. 29th, 2022

Abstract

Based on the SIR model of infectious diseases, a new class of suspicious nodes is added, and the communication differences between strong and weak relationships among investors are considered. The concept of intimacy is introduced to make individuals realize dynamic transfer, and an investor network information communication model is constructed. The model is more suitable for the information communication characteristics of traders in the real investment market. The results show that the communication ability of information will increase with the increase of the number of times investors receive information and the intimacy between nodes. Reducing the

mutual contact between investors and strengthening the liquidity of investors will help to curb the wanton dissemination of information, and can provide a theoretical reference for the management and control of securities market in reality.

Keywords

Investor Network, SEIR Model, Intimacy, Information Dissemination

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着互联网金融快速发展, 证券市场中投资者获取信息的方式和渠道也越来越多。投资者既可以通过口口相传的方式进行信息传播, 也可以借助互联网和社交媒体传播信息。《中国互联网络发展状况统计报告》显示: 截至 2021 年 6 月, 我国互联网的网民数量达到 10.11 亿, 互联网普及率为 71.6% [1]。互联网和社交媒体的发展扩散了虚假信息的传播速度和范围, 投资者受虚假信息的影响会造成恐慌心理, 不仅危害市场的稳定, 还动摇了投资者对市场信息真实性的信心。

投资市场中由于投资者不能及时获取准确的信息, 在投资过程中容易受周围朋友的影响, 听从好友意见做出相同决策, 这种传播过程类似于传染病的传播。因此一些研究传染病传播的模型被广泛应用于社交网络中信息的传播[2] [3]。Kermack 和 Mckendrick [4]最早提出 SIR 模型, 他们将个体分为易感、感染、免疫三种状态, 个体间通过接触进行疾病传播。Moreno 等[5]基于 SIR 模型研究无标度随机网络的传播过程。Wang J.等[6]考虑了延迟时间对信息传播和免疫结果的影响。随着研究的深入, 研究者认为经典 SIR 模型中的三种个体状态不足以讨论真实社交网络的特性, 由此提出了改进模型, 袁信等[7]细化了传播节点的属性, 建立新的信息传播模型并验证了模型的可靠性。朱海涛等[8]引入相似度、信息价值和信息时效性等因素构建 SEIR 模型, 分析了微信中信息的传播机制。魏静等[9]提出了具有衍生效应的 SIR 模型, 基于微博的互动模式对影响其传播的因素进行了研究。虽然对于传染病模型的研究已经不再局限于疾病传播, 但传染病模型在投资者领域的相关研究目前还处于初级阶段。刘迪[10]在 SIR 模型的基础上引入媒体因素, 发现媒体在股市谣言传播中影响重大。刘珺[11]基于投资者的传染效应, 建立研究投资者行为的股市 SIR 模型, 分析投资资金对股市的影响。上述的信息传播模型都存在一个共同点, 即节点间的传播概率为常数。在我国投资者市场, 投资者往往倾向于模仿他人行为, 投资决策易受身边信任的人影响导致非理性投资。例如, 一个投资者有两个朋友, 其中一个关系亲密的好友, 另一个是普通同事, 相对于公司同事, 该投资者与好友具有相似兴趣、话题, 与好友更加亲密, 相应地对好友的信任度往往比较大, 更倾向于相信并传播从好友那里听来的信息。因此信息传播概率具有非一致性。而以往的研究没有考虑节点亲密度对信息传播的影响。

本文基于传统的 SIR 模型, 考虑到投资者之间亲密关系的不同, 提出一种改进的 SEIR 信息传播模型, 分析节点亲密度对信息传播的影响, 通过对无标度网络的模拟仿真实验, 详细分析了投资者交互信息在本文所提模型中的传播特性, 并讨论了内部参数变化的影响。从而了解交易者网络中信息传播的动力学过程, 为引导和控制投资市场谣言的传播提供决策依据。因此, 本文的研究在理论与社会应用中均有重要意义。

2. 考虑投资者亲密度的信息传播模型

通过上述分析, 传统的传染病模型在信息传播方面的研究存在一些问题, 固定的传播概率并不完全适用于投资者交互网络的信息传播过程。为了使个体间的交互更符合投资市场的信息传播行为, 在传统的 SIR 模型基础上, 考虑亲密度的疾病传播特征, 我们提出改进的 SEIR 模型, 具体描述如下。

2.1. 节点分类及转移规则

将网络中的投资者视为节点 V , 投资者之间的互动关系视为网络的边 E [12]。根据关系拓扑结构建立谣言传播网络 $G(V, E)$, 网络中的投资人群可分为以下四类: 未知者 S , 怀疑者 E , 传播者 I , 免疫者 R 。未接触谣言的投资者记为 S , 接触信息并对信息持怀疑态度, 暂不传播信息的投资者记为 E , 接触信息并以一定的概率在网络中将信息传播给其好友的投资者记为 I , 对信息失去兴趣不再传播信息的投资者记为 R 。

在 SEIR 模型中, 这四类节点状态转移规则定义如下:

- 1) 当未知节点 S 接收到邻居节点发布的信息后, 以初始传播概率 λ 转化为怀疑节点 E ;
- 2) 当怀疑节点 E 不断接收邻居传播节点 I 向其传播的信息后, 考虑与传播者间的亲密程度选择是否相信信息, 相信以概率 α 转化为传播节点 I , 不相信以概率 β 变成免疫节点 R ;
- 3) 当传播节点接触到免疫节点 R 后对谣言传播失去兴趣, 以概率 γ 转化为免疫节点 R 。SEIR 模型节点状态转移如图 1 所示:

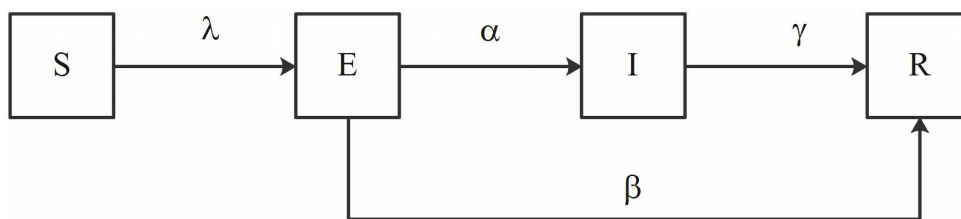


Figure 1. Node state transition of SEIR model

图 1. SEIR 模型节点状态转移

由平均场理论[13] [14], 得到如下传播动力学方程:

$$\begin{aligned}
 \frac{dS(k,t)}{dt} &= -k\lambda S(k,t) \sum_{k'} E(k',t) p(k'|k) \\
 \frac{dE(k,t)}{dt} &= k\lambda S(k,t) \sum_{k'} E(k',t) p(k'|k) - k\alpha E(k,t) \sum_{k'} I(k',t) p(k'|k) \\
 &\quad - k\beta E(k,t) \sum_{k'} R(k',t) p(k'|k) \\
 \frac{dI(k,t)}{dt} &= k\alpha E(k,t) \sum_{k'} I(k',t) p(k'|k) - k\gamma I(k,t) \sum_{k'} R(k',t) p(k'|k) \\
 \frac{dR(k,t)}{dt} &= k\gamma I(k,t) \sum_{k'} R(k',t) p(k'|k) + k\beta E(k,t) \sum_{k'} R(k',t) p(k'|k)
 \end{aligned} \tag{1}$$

为了便于研究, 本文模型假设在谣言传播过程中总人数不变, k 表示网络中节点的度, $S(k,t), E(k,t), I(k,t), R(k,t)$ 分别表示 t 时刻度为 k 的四类投资者的密度, 则

$$S(k,t) + E(k,t) + I(k,t) + R(k,t) = 1, \text{ 且 } 0 \leq S(k,t), E(k,t), I(k,t), R(k,t) \leq 1$$

该模型中, $p(k'|k)$ 表示网络中 degree 为 k 的节点连接到 degree 为 k' 的节点的条件概率, 可以表示为

$$p(k'|k) = \frac{k'p(k')}{\langle k \rangle} \quad (2)$$

其中 $\langle k \rangle$ 为投资者网络的平均节点度, 且满足: $\langle k \rangle = \sum_k k p(k)$ 。

在上述传播规则的描述中, 传播概率对整个传播过程影响极大。在传统的传播模型中将其设置为一个常数, 认为任意两个体间传播信息的概率是相同的, 这与现实的社交网络不符。我们认为一个投资者会根据自己接收信息的次数及是否信任传递其信息的好友来判断信息的可靠性。下面对传播概率 α 做详细的描述。

2.2. 信息传播概率

投资者在信息互动过程中, 它们对不同亲密关系的好友表现出不同的信任, 影响信息的传播效果。同样, 投资者在传播过程中会持续接收同类信息的多次刺激, 使投资者对信息逐渐信任, 更容易接受, 表现出盲从心理。考虑到实际信息传播过程中传播概率与投资者间亲密度有关, 即关系越亲密, 交流次数越多, 投资者越容易接受好友传播的信息, 基于信息微观传播机制, 我们重新定义了一个怀疑状态的节点被一个邻居传播节点传染的概率:

$$\alpha = \left[1 - (1-p)^{-b(m-1)} \right] \cdot \left(1 - e^{-\sum w_{ij}} \right) \quad (3)$$

信息接收次数实际是一种正向的社会加强效果, 式中, $\left[1 - (1-p)^{-b(m-1)} \right]$ 为社会加强效应的影响项, p 为信息初始传播率, 表示信息自身的吸引力, b 为加强系数, m 为累积接收到信息次数, 用未知节点周围传播节点的总数表示; $1 - e^{-\sum w_{ij}}$ 为亲密度的影响项, w_{ij} 表示投资者 i 的与投资者 j 的共同邻居占 i 的所有邻居的比值。

3. 实验仿真与分析

本文使用 Matlab2017a 对投资者信息传播模型进行仿真实验。在信息的传播过程中, 由于信息传播的时间相对较短, 本文暂不考虑网络中节点进出的动态变化, 即认为谣言传播过程用户总人数不变。投资者网络是社会关系网络的一种, 具有典型的“小世界”和“无标度”特性[15]。因此我们构造了无标度网络, 网络的节点总数 $N=1000$, 生成网络的初始节点 $m_0=3$, 每次引入一个新节点[16], 并且连到 $m=2$ 个已经存在的节点上, 网络平均度 $k=10$, 平均聚类系数为 0.223。

3.1. 各种状态节点密度变化

在构造的无标度网络上进行仿真实验, 在 SEIR 模型中, 选择一个度较大节点作为传播节点, 设置初始参数为 $p=0.3$, $b=1$, 为使仿真结果更具可靠性, 根据上述节点传播规则, 进行了 50 次迭代实验后对结果取平均值, 改进后的 SEIR 模型各类节点随时间的变化如图 2 所示。

从图 2 中可以看出未知节点 S 密度在初始传播阶段迅速减少, 这是因为互联网和社交网络的发展, 使得投资者间交互信息速度快、时间短。一段时间后趋于稳定, 未知节点占全部节点的 23% 左右, 符合有小部分用户自始至终都不会接触到信息的事实。怀疑节点 E 发展趋势较平缓, 密度先缓慢增大后逐渐减少, 这是由于初始阶段大量未知状态节点进入怀疑状态使节点密度增大, 而进入怀疑状态的节点一部分选择接受信息成为传播节点, 一部分对信息不感兴趣或不相信信息的真实性, 进入免疫状态, 使得节点密度逐渐减少为 0。传播节点 I 密度在信息传播初期增长较为平缓, 说明传播概率受好友亲密度和接受次数的影响, 最大峰值密度约为 0.13, 同时免疫节点对于反对信息的扩散作用使得更多节点进入免疫状态从而传播节点逐渐减少最终消失, 免疫状态节点 R 密度在信息传播过程中快速增长最终达到稳定, 即

信息所能传播的最大范围, 密度约占网络总比例的 74%, 此时传播者也随着事态的进一步发展而最终消失, 该仿真结果与现实情况也达到较好的吻合。

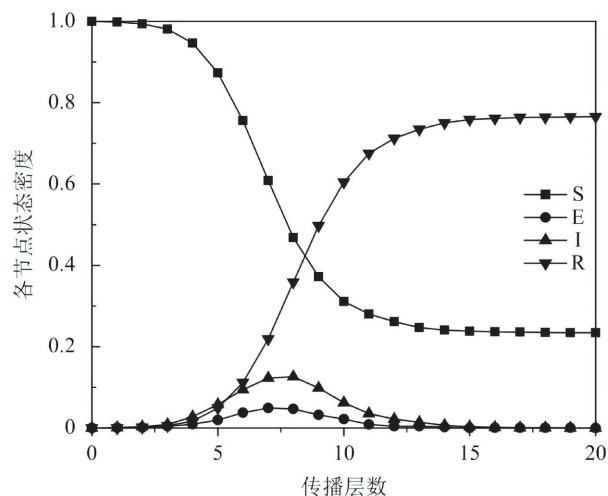


Figure 2. Variation curves of node density in different states
图 2. 不同状态节点密度变化曲线

3.2. 投资者亲密度对传播概率 α 的影响

当 $m = 1$ 时, 不考虑信息接受次数对信息传播的影响, 假设信息初始概率 $p = 0.3$, 分别选取参数 $w = 0.2$ 、 $w = 0.4$ 、 $w = 0.6$ 、 $w = 0.8$ 。从图 3 中可以发现随着共同好友数量的增多, 信息接受概率越大, 在其他参数相同时, w 越大, 信息接受概率越大。也就是说投资者网络中关系越亲密的好友相比关系一般的好友来说, 传播的信息的速度越快, 范围越广。因此, 在不良信息传播期间, 减少投资者之间的相互联系, 严格审核各社交平台大 V 发布的信息, 能够有效抑制不良信息的传播。

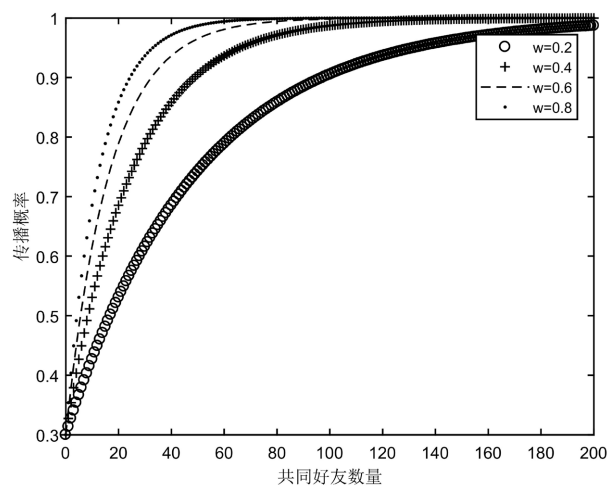


Figure 3. Curve of the influence of intimacy on the transmission probability
图 3. 亲密度对传播概率的影响变化曲线

3.3. 信息接受次数对传播概率 α 的影响

当 $w = 0.6$ 时, 在社交关系亲密程度相同的情况下, 分别选取参数 $m = 2$ 、 $m = 4$ 、 $m = 6$ 、 $m = 8$, 从

图 4 中可以看出共同好友数量相同的情况下, 投资者接收的信息次数越多, 越倾向于传播信息, 同时未知状态下的投资者个体在接触与自己越亲密的朋友传来的观点或信息越容易动摇意志而相信未经证实的不良信息, 并逐渐参与不良信息的传播, 这样不良信息的传播范围会逐渐变广, 从而造成投资市场存在谣言的传播, 引起股市动荡[17]。监管部门无法在短时间内改变投资者的态度, 但是我们可以积极引导个体投资者理性判断信息的可靠性, 比如加强知识的普及和宣传, 增加人们获取知识的渠道, 对散布谣言的人实施严厉的惩罚。

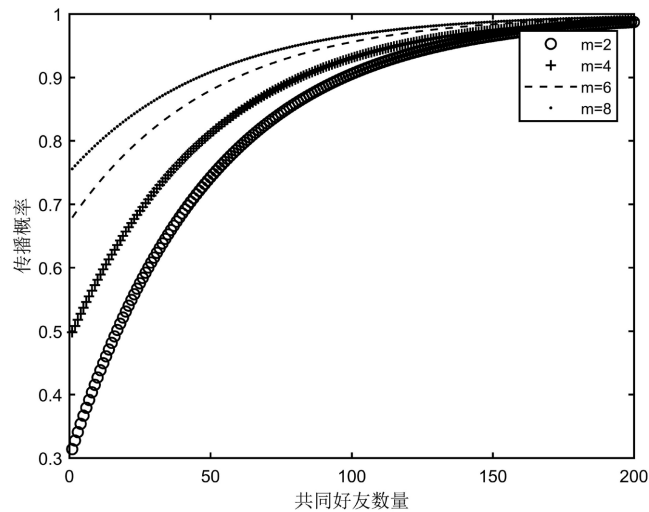


Figure 4. Curve of influence of information receiving times on propagation probability

图 4. 信息接收次数对传播概率的影响变化曲线

4. 总结

本文在传统的 SIR 模型基础上, 加入新的一类怀疑状态节点[18], 考虑到投资者交互信息时受好友关系强弱和接受信息次数的影响, 引入亲密度的概念, 提出了基于亲密度的投资者网络信息传播模型, 根据亲密度和接受次数使个体实现动态转移, 研究该模型在无标度网络上的传播特点, 通过对参数的讨论, 进一步分析其传播过程。实验表明, 该模型反映了节点间亲密度对信息传播具有较大影响, 信息的传播能力会随着投资者接受信息的次数以及节点间亲密度增大而增大, 考虑节点间亲密度的信息传播模型能够反映真实投资网络中信息传播特性, 减少投资者之间的相互接触以及加强投资者的流动性, 有助于抑制信息肆意传播。同时, 该研究也为股票市场、监管部门对股市信息传播的有效监管与控制提供了一个全新的理论视角。

此外, 本文假设不改变投资者网络的扑拓结构, 没有考虑到投资者的进入和退出, 但真实投资者交互网络具有复杂性, 其网络结构是动态的。因此考虑更为复杂的网络演化动力学模型将是今后的主要工作。

参考文献

- [1] 中国互联网信息中心. 第 48 次《中国互联网络发展状况统计报告》[EB/OL]. http://www.cnnic.net.cn/hlwfzyj/hlwxzbg/hlwtjbg/202109/t20210915_71543.htm, 2021-09-15.
- [2] 王祁月, 刘润然, 贾春晓. 复杂网络上的意见动力学对谣言传播的影响[J]. 物理学报, 2021, 70(6): 345-352.
- [3] 吴吟, 孙琪. 互联网信息传播中的事件网络关键节点研究——一项基于网络拓扑学的实证研究[J]. 中国广播电视学刊, 2020(6): 37-42.

-
- [4] Kermack, W.O. and Mckendrick, A.G. (1937) Contributions to the Mathematical Theory of Epidemics: IV. Analysis of Experimental Epidemics of the Virus Disease Mouse Ectromelia. *Epidemiology & Infection*, **37**, 172-187. <https://doi.org/10.1017/S0022172400034902>
- [5] Moreno, Y., Nekovee, M. and Pacheco, A.F. (2004) Dynamics of Rumor Spreading in Complex Networks. *Physical Review E*, **69**, Article ID: 066130. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.69.066130>
- [6] Wang, J., Wang, Y.Q. and Li, M. (2017) Rumor Spreading Model with Immunization Strategy and Delay Time on Homogeneous Networks. *Communications in Theoretical Physics*, **68**, 803-810. <https://doi.org/10.1088/0253-6102/68/6/803>
- [7] 袁信, 王永滨. 基于在线社交网络的信息传播模型研究[J]. 中国传媒大学学报(自然科学版), 2020, 27(6): 19-24+35.
- [8] 朱海涛, 赵捧未, 秦春秀. 一种改进的移动社交网络 SEIR 信息传播模型研究[J]. 情报科学, 2016, 34(3): 92-97.
- [9] 魏静, 黄阳江豪, 林萍, 宋瑞晓. 基于改进 SIR 模型的微博网络舆情传播研究[J]. 情报科学, 2019, 37(6): 16-22.
- [10] 刘迪. 考虑媒体报道效应的股市谣言传播模型研究[D]: [硕士学位论文]. 镇江: 江苏大学, 2019.
- [11] 刘珺. SIR 模型及其在投资者行为研究中的应用[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东大学, 2018.
- [12] 尹群耀, 何建敏, 吴亚丽. 基于 MDD 模型的动态投资者网络上股市传闻扩散研究[J]. 软科学, 2013, 27(9): 135-139.
- [13] 王赫. 基于无标度网络的线上和线下谣言传播动力学模型分析[J]. 电脑知识与技术, 2021, 17(4): 251-252.
- [14] 卓新建, 王文璇, 李慧嘉. 有标记网络中的病毒传播机理及动态特性[J]. 北京邮电大学学报, 2021, 44(3): 73-78.
- [15] 王先甲, 全吉, 刘伟兵. 有限理性下的演化博弈与合作机制研究[J]. 系统工程理论与实践, 2011, 31(S1): 82-93.
- [16] 柯心蕊. 加权网络中谣言传播对产品定价策略的影响研究[D]: [硕士学位论文]. 广州: 华南理工大学, 2018.
- [17] 李绍坤. 互联网时代投资者行为对市场监管的启示——基于游戏驿站的案例分析[J]. 会计之友, 2021(18): 25-31.
- [18] 王玉, 陈姗姗, 傅新楚. 传播动力学模型回顾与展望[J]. 应用数学与计算数学学报, 2018, 32(2): 267-294.