

基于复杂网络理论的电商供应链 风险预测方法研究^①

龚 祯

浙江商业职业技术学院 电子商务学院, 杭州 310053

摘要: 由于目前已有风险预测方法未能考虑供应链风险因素的统计问题, 导致预测结果可信度下降, 预测费用增加. 为了有效解决上述问题, 提出一种基于复杂网络理论的电商供应链风险预测方法. 从复杂网络、节点重要性角度分析单个企业对网络的影响, 从供应链风险等视角全面统计供应链风险因素. 通过复杂网络节点重要性理论, 结合统计分析获取对应的供应链风险诱因小类, 组建电商供应链风险预测体系. 将企业节点重要性预测结果作为电商供应链风险预测的权重系数, 采用熵权法确定权重, 结合多层模糊评价法组建电商供应链风险预测模型, 有效实现电商供应链风险预测. 仿真实验结果表明, 本文方法能够有效提升预测结果的可信度, 降低预测费用.

关键词: 复杂网络理论; 电商供应链; 风险预测; 熵权法; 多层模糊评价; 权重系数

中图分类号: TP393

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2021)03-0039-06

传统供应链主要是由多级原材料供应商、生产制造商、多级分销商、销售商以及最终客户端组成的复杂网络系统. 传统供应链主要是以制造企业为核心, 产品结果和类型相对稳定^[1-2], 原始材料供应商和其他对应的分销网络以及客户群体也是相对稳定的, 整个供应链网络呈现出结构稳定以及层级分明等特征. 和传统的供应链不同, B2C 是指企业对个人的电子商务模式, 在此模式下的供应链能够利用互联网实现信息流、物流、资金流的有效共享, 同时还能够大幅度地扩展上下游节点数量, 有效降低供应链的层级. 由于消费者主要利用网购平台直接和制造商进行贸易, 即制造商直接面向消费者, 所以电商供应链主要是由供应商、网购平台、用户组成的三层供需网络, 整个网络具有层次少、动态性强等特点. 目前, 如何进行电商供应链风险预测成为业界的热点话题, 相关专家也针对该方面的内容展开了研究. 文献[3]重点分析基于电子商务的集群供应链风险因子, 对其进行分类, 组建风险预测体系, 将层次分析法以及模糊综合评价法组建供应链风险预测模型, 有效地实现了风险预测, 但是由于未考虑供应链风险因素统计问题, 导致预测结果可信度下降. 文献[4]以农产品供应链的风险因素为研究对象, 以事故树模型为基础, 组建基于事故树的风险因素树形图, 并且将其映射为贝叶斯网络, 同时结合专家给出的风险因素进行三角模糊数处理, 降低人为因素的影响, 最终根据正向、反向分析不同事件的重要度并进行排序, 有效地进行电商供应链风险预测, 但是该方法预测费用较高. 本文提出基于复杂网络理论的电商供应链风险预测方法, 仿真实验结果表明, 该方法能够有效降低预测费用, 提升预测结果的可信度.

1 复杂网络理论下电商供应链风险预测方法

1.1 构建节点重要性评价体系

在电商供应链风险预测过程中, 将电子商务企业作为整个供应链的核心, 对核心企业的内部人员进行

^① 收稿日期: 2020-09-18

基金项目: 浙江省教育厅基金项目(Y201840207); 杭州市哲社规划基金项目(Z19YD033).

作者简介: 龚 祯, 硕士, 讲师, 主要从事电子商务研究.

控制及引导. 其中, 电子商务企业重点针对信息流、物流及资金流等进行控制. 电商企业的供应链是一个网状的结构. 在网状结构下, 能够有效删除无用的操作过程及损耗. 供应商能够实时查看电商企业的详细库存信息, 制定对应的购销计划, 不需要结合企业的订单获取具体的需求情况^[5-6]. 同时, 企业还能及时了解消费者的需求信息, 制定对应的采购计划. 采购计划的制定不仅能够有效避免由于计算失误带来的损失, 还能够提升整个方法的运行效率.

所有企业的发展都离不开合作, 全部企业均为供应链上的一环, 当供应链发生风险时, 则全部的企业都会遭受损失. 所以, 现阶段大部分的企业更加注重企业供应链管理, 同时尝试采用最新的供应链风险管理策略. 供应链外部风险是指造成供应链风险产生的外部环境诱因, 主要包含自然环境、社会环境等, 且具有一定的不可抗拒性, 这不是企业本身能够控制的, 但是企业能够提前采取防护措施有效降低损失.

从复杂网络、节点重要性角度分析单个企业对网络的影响, 从供应链风险等视角^[7], 全面统计供应链风险因素. 在设计电商供应链风险预测指标时, 利用统计分析获取对应的供应链风险诱因小类, 组建电商供应链风险预测体系^[8].

1.1.1 环境风险指标

①自然灾害影响指数主要包含水灾、火灾等各种不可抗拒的自然灾害发生的可能性以及对供应链可能引发的非常规性综合破坏程度. 在对主观指标进行客观评分时, 需要将定性指标划分为 5 个不同等级, 分别为 V_1, V_2, V_3, V_4, V_5 ; ②社会安全影响指数; ③经济增长指数; ④政策法规符合程度.

1.1.2 网络风险指标

①网络传输速率; ②服务器故障率; ③网站设计合理性; ④防病毒成功率.

1.1.3 供应风险指标

①延迟供货率 = 本期延迟供货次数 / 本期供货总次数 $\times 100\%$; ②交货失败率 = 本机交货未满足次数 / 本期交货总次数 $\times 100\%$; ③质量合格率 = 采购产品合格数量 / 采购总量 $\times 100\%$.

1.1.4 需求风险指标^[9]

①需求波动幅度 = (本期销售量 - 前期销售量) / 前期销售量 $\times 100\%$; ②客户不满意度 = [(投诉用户数 / 用户总数) + (返修产品数 / 销售总数)] $\times 100\%$.

1.1.5 物流风险指标

①订单响应时间 = 订单处理时间 + 仓储时间 + 输送配送时间; ②配送及时性 = 本企业的平均配送时间 / 行业内平均配送时间 $\times 100\%$; ③货物受损率 = 配送中损坏产品数量 / 配送产品数量 $\times 100\%$; ④服务商可靠性主要是指物流服务商按照合同进行准时配货及准确配货的概率.

1.1.6 资金流风险指标

①资金周转率; ②总资产增长率; ③销售利润率.

1.1.7 信息流风险指标

①信息共享程度; ②信息偏差程度.

1.1.8 结构风险指标

①供应链结构合理性; ②供应链柔性.

1.1.9 合作风险指标

①利益分配公平度; ②文化差异程度; ③合约信任度.

1.2 基于复杂网络理论的电商供应链风险预测方法

从研究完整度以及覆盖范围的角度来看, 电商供应链风险预测模型主要包含两个层次, 第一层次为企业风险预测, 它属于微观层次. 在该层次中主要通过模糊综合评价, 针对风险因素指标进行预测, 明确不同指标的权重, 获取节点企业的风险预测; 第二层次是对电商供应链网络的跨层次风险预测^[10], 属于宏观层次. 该层次在对节点企业风险预测的基础上, 将节点企业重要性预测结果设定为权重系数, 组建对应的模糊综合预测体系, 实现对整个网络的风险预测.

结合上述分析, 组建电商供应链风险预测模型的整体思路如图 1 所示。

本文研究过程中主要通过熵权法确定权重, 不仅能够有效降低人为预测的主观性, 同时也是一种客观的赋权方法。基本思路: 通过选择指标变异性的确定权重, 有效消除主观因素对权重产生的影响。由于风险预测指标的特殊性, 在对指标进行描述的过程中, 各项指标的风险度量具有一定的不确定性。熵为系统无序程序的一个度量^[11-12]。信息熵为熵的一种, 能够理解是任意一种特定信息出现的概率, 主要用来衡量信息量的大小。其中预测指标的熵值越小, 则说明指标值的变异程度越大, 所能提供的信息量也越多, 指标的权重也就越大。

在上述分析的基础上, 采用 TOPSIS 法对节点企业重要性进行二维预测, 具体的操作步骤如下:

组建供应链网络中的节点企业重要性指标矩阵, 即

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} \mathbf{E}_1(F_1), & \cdots, & \mathbf{E}_1(F_s) \\ \vdots & & \vdots \\ \mathbf{E}_N(F_1), & \cdots, & \mathbf{E}_N(F_s) \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)中, $\mathbf{E}_1(F_1), \mathbf{E}_1(F_s), \mathbf{E}_N(F_1), \mathbf{E}_N(F_s)$ 分别表示供应链网络中节点企业重要性指标矩阵参数。根据复杂网络的相关计算, 能够获取不同节点重要性指标的取值。由于不同预测指标的量级代表的含义不同, 需要对其进行标准化处理^[13], 表达式为

$$e_{ij} = \frac{E_1(F_s)}{E_N(F_s) + 1} \quad (2)$$

通过式(2) 可以获取节点企业重要性指标, 即

$$\mathbf{G}^* = (e_{ij})_{N \times S} \quad (3)$$

通过 $\mathbf{G}^*$ 能够获取最优策略指标集 H^+ 及最差策略指标集 H^- , 即

$$H^+ = \begin{cases} \{e_1^{\max}, \cdots, e_S^{\max}\} \\ \{\max(e_{11}, \cdots, e_{1N}), \cdots, \max(e_{NS}, \cdots, e_{NS})\} \end{cases} \quad (4)$$

$$H^- = \begin{cases} \{e_1^{\min}, \cdots, e_S^{\min}\} \\ \{\min(e_{11}, \cdots, e_{1N}), \cdots, \min(e_{NS}, \cdots, e_{NS})\} \end{cases} \quad (5)$$

分别计算各项策略与最优策略和最差策略的差值, 计算式为

$$L_i^+ = \sum_{j=1}^s |e_{ij} - e_j^{\max}| \quad (6)$$

$$L_i^- = \sum_{j=1}^s |e_{ij} - e_j^{\min}| \quad (7)$$

计算最优策略的接近度 T_i , 其中 T_i 的取值和节点企业的重要程度呈正比, 定量获取节点企业重要性预测结果, 即

$$T_i = \frac{L_i^-}{(L_i^- + L_i^+)} \quad (8)$$

根据对节点重要性最优策略的贴近度, 能够获取节点企业重要性的权重系数预测结果^[14-15], 具体如式(9), 即

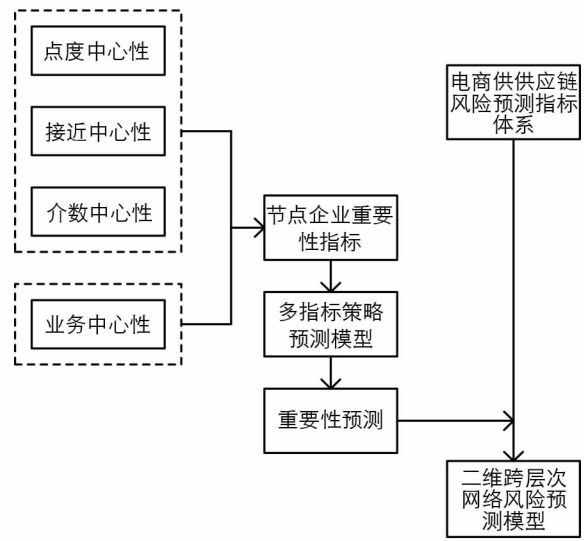


图 1 电商供应链风险预测模型图

$$q_i = \frac{T_i}{\sum_{i=1}^N T_i}$$

(9)

不同节点的权重系数共同组成供应链网络节点企业重要性权重矩阵，即

$$Q^* = \{q_1, \cdots, q_n\}$$

(10)

针对不同风险指标进行预测后，由于不同指标对企业的影响程度完全不同，所以需要对影响权重进行定量描述。权重在描述的过程中受到多种制约因素的影响，导致数据准确率偏低。本文通过熵权法进行权值确定，首先针对各项二级指标权重进行计算，然后通过计算结果获取一级指标权重。具体操作步骤如下：

不同概率值信息熵的计算公式为

$$H_{ij} = - \sum_{k=1}^K \varphi_{ij} \cdot \lg \varphi_{ijk}$$

(11)

通过模糊综合评价理论，对不同的风险因素进行预测，获取如下的预测矩阵

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i, 11} & \cdots & r_{i, 1m} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{i, n1} & \cdots & r_{i, nm} \end{bmatrix}$$

(12)

将熵权法和多层模糊评价法两者结合，组建电商供应链风险预测模型，即

$$Z^* = Q^* \times R^*$$

(13)

通过式(13) 组建的模型能够有效实现电商供应链风险预测。

2 实验分析

为了验证基于复杂网络理论的电商供应链风险预测方法的综合有效性，本文进行了仿真实验。验证来源数据采用实证与评估相结合的方式，通过系统调研某典型电商企业的核心产品供应链流程，企业一般把供应链的管理信息存放在 ERP(企业资源计划)系统中，因此可以从企业现有 ERP 系统直接获取供应风险指标、需求风险指标、物流风险指标、资金流风险指标等实证数据，并从企业实证数据出发，间接获取企业供应链结构风险指标、合作风险指标数据。同时，根据企业区域位置与社会发展情况，评估环境风险指标、网络风险指标、信息流风险指标。

实验分析仿真工具为 Matlab 和 Visual C++，信道载波频率为 14 KHz，数据采样的频谱带宽为 64 dB，最小均方自适应滤波参数为 0.68，多径时延差为 1.27 ms，在 Windows 10(64 位)的 Intel COREi5，显卡是 NVIDIAGTX60M，主频 3 的实验环境下进行测试，分别利用基于复杂网络理论的电商供应链风险预测方法、文献[3]方法和文献[4]方法测试电商供应链风险预测结果可信度、预测费用，然后进行对比实验。

(1) 预测结果可信度

选取 3 种不同的风险预测方法进行测试，在不同的电商供应链风险下对比各个方法的预测结果可信度，具体的实验对比结果如图 2 所示。

在图 2 中，a,b,c,d 和 e 分别代表政治风险类型、社会风险类型、经济风险类型、自然风险类型和技术风险类型。分析图 2 中的实验数据可知，基于复杂网络理论的电商供应链风险预测方法的预测可信度最高；文献[3]方法次之；文献[4]方法最低。因为基于复杂网络理论的电商供应链风险预测方法在实际应用的过程中，全面统计了电商供应链上的风险因素，同

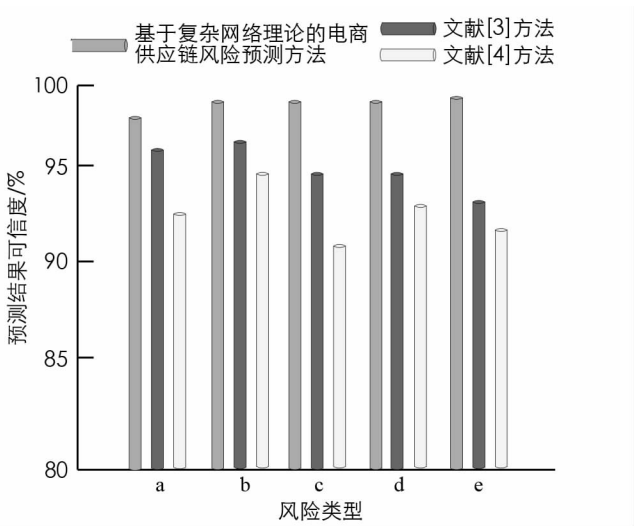


图 2 不同方法的预测结果可信度对比

时建立了对应的风险预测指标体系，这样促使整个方法的预测精度得到大幅度改善，且预测结果的可信度也得到有效提升。

（2）预测费用

为了更进一步验证基于复杂网络理论的电商供应链风险预测方法的优越性，本文实验测试对比了 3 种不同方法的预测费用，结果如表 1 所示。

表 1 不同方法的预测费用对比万元

测试数量/个	基于复杂网络理论的电商 供应链风险预测方法	文献[3]方法	文献[4]方法
100	0.17	0.34	0.32
200	0.18	0.35	0.33
300	0.19	0.36	0.35
400	0.20	0.38	0.36
500	0.21	0.40	0.37
600	0.23	0.42	0.39
700	0.25	0.43	0.41
800	0.26	0.44	0.42
900	0.27	0.46	0.44
1 000	0.30	0.50	0.46

由表 1 中的实验数据可知，当预测对象的数量持续上升时，各个预测方法的预测费用也随之增加。因为基于复杂网络理论的电商供应链风险预测方法有效地解决了电商供应链风险因素统计问题，使整个方法的预测结果可信度得到提升，错误预测的情况降低，整个方法的预测费用也对应下降，所以整体的预测费用明显低于另外两种方法。

基于复杂网络理论的电商供应链风险预测方法预测结果可信度较高，且预测成本较低。

3 结 语

针对传统方法存在的一系列问题，本文设计并提出一种基于复杂网络理论的电商供应链风险预测方法。仿真实验结果表明本文方法不仅能够有效提升预测结果的可信度，还能够降低预测费用。电商供应链风险预测的研究是一个渐进的、不断完善的过程，后续还将针对该领域的研究内容进一步拓展。

参考文献：

[1] 周会军,严 伟,徐 朗. 质量风险控制和促销宣传下跨境电商供应链的决策与协调 [J]. 上海海事大学学报, 2017, 38(3): 67-71, 89.

[2] 张媛媛,姜海虹,张 漪,等. 电子商务环境下供应链协同利益分配问题研究 [J]. 商业经济研究, 2016(6): 67-69.

[3] 宋欣蔚,夏同水. 基于电子商务的集群供应链风险评估研究 [J]. 财会通讯, 2016(29): 97-100, 129.

[4] 杨怀珍,胡葛君. 基于事故树与贝叶斯网络的农产品供应链风险评估 [J]. 江苏农业科学, 2020, 48(5): 304-310.

[5] 徐 鹏. 线上农产品供应链金融风险防范研究 [J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2016, 15(6): 93-103.

[6] 刘 铮,鲍新中. 基于电子商务平台的供应链融资研究综述 [J]. 金融理论与实践, 2018(11): 104-110.

[7] 陈畴镛,张永森. 电商环境下考虑公平偏好的供应链渠道激励机制 [J]. 科技管理研究, 2018, 38(23): 187-197.

[8] 任 敏,陈金龙. 基于第三方 B2B 电商平台的银行供应链金融收益分配策略研究 [J]. 数学的实践与认识, 2018, 48(4): 42-48.

[9] 白世贞,谢 爽,吴 绒,等. 基于价格参考效应的生鲜电商供应链协调策略研究 [J]. 保鲜与加工, 2018, 18(1): 118-124.

[10] 李 荣. 电商供应链网络融资研究——基于阿里金融与京东金融的对比分析 [J]. 农村金融研究, 2018(1): 30-34.

[11] 吴 欣. 跨境电子商务服务供应链风险及优化分析 [J]. 价格月刊, 2019(2): 91-94.

- [12] 高 珍, 高 屹, 余荣杰, 等. 连续数据环境下的道路交通事故风险预测模型 [J]. 中国公路学报, 2018, 31(4): 280-287.
- [13] 储雪俭, 谢天豪, 庞瑞琪. 电商供应链金融的特点、风险及防控对策 [J]. 南方金融, 2018(9): 94-98.
- [14] 李 波, 王汝锋, 陈蔚淳. 电子商务下风险规避制造商对供应链决策策略的影响研究 [J]. 管理工程学报, 2019, 33(2): 173-179.
- [15] 陈畴镛, 张永森. 电商环境下考虑公平偏好的供应链渠道激励机制 [J]. 科技管理研究, 2018, 38(23): 187-197.

On E-Commerce Supply Chain Risk Forecast Method Based on Complex Network Theory

GONG Zhen

College of Electronic Commerce, Zhejiang Vocational College of Commerce, Hangzhou 310053, China

Abstract: Because the existing methods fail to consider the statistical problem of supply chain risk factors, the credibility of the prediction results decreases and the forecast cost increases. In order to effectively solve the above problems, combined with complex network theory, a risk prediction method of e-commerce supply chain based on complex network theory has been proposed. From the perspective of complex network and node importance, this paper analyzes the impact of single enterprise on the network, and makes a comprehensive statistics of supply chain risk factors from the perspective of supply chain risk. At the same time, through the complex network node importance theory, combined with statistical analysis to obtain the corresponding supply chain risk inducement subclass, establish e-commerce supply chain risk prediction system. Taking the prediction results of enterprise node importance as the weight coefficient of e-commerce supply chain risk prediction, the entropy weight method is used to determine the weight, and the multi-level fuzzy evaluation method is combined to establish the e-commerce supply chain risk prediction model, which effectively realizes the e-commerce supply chain risk prediction. Simulation results show that the proposed method can effectively improve the credibility of the prediction results and reduce the prediction cost.

Key words: complex network theory; e-commerce supply chain; risk prediction; entropy weight method; multilayer fuzzy evaluation; weight coefficient

责任编辑 夏 娟