

doi: 10.7690/bgzdh.2025.08.015

基于工业互联网和蚁群优化算法的供应链风险动态识别方法

程 栋, 张 勇, 邱 琼

(国网浙江省电力有限公司绍兴供电公司, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 针对常规供应链风险动态识别方法导致识别正确率较低的问题, 提出基于工业互联网和蚁群优化算法的供应链风险动态识别方法。根据供应链风险管理流程, 利用工业互联网技术识别供应链风险因素, 在风险因素基础上构建供应链风险指标体系; 通过分析风险因子的根本特征, 分析潜在风险因素, 并利用蚁群优化算法计算各风险指标的权重值与损失函数, 结合信息素模长, 实现供应链风险动态识别。对比实验结果表明: 将该方法应用于企业物资供应链风险动态识别中, 可取得较高的识别正确率。

关键词: 工业互联网; 蚁群优化算法; 供应链; 风险动态识别

中图分类号: F252.5 **文献标志码:** A

Dynamic Identification of Supply Chain Risk Based on Industrial Internet and Ant Colony Optimization Algorithm

Cheng Dong, Zhang Yong, Qiu Qiong

(Shaoxing Power Supply Company, State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Shaoxing 312000, China)

Abstract: Aiming at the problem that the conventional dynamic identification method of supply chain risk leads to low identification accuracy, a dynamic identification method of supply chain risk based on industrial internet and ant colony optimization algorithm is proposed. According to the supply chain risk management process, the industrial internet technology is used to identify the supply chain risk factors, and the supply chain risk index system is constructed on the basis of the risk factors. By analyzing the fundamental characteristics of the risk factors, the potential risk factors are analyzed, and the ant colony optimization algorithm is used to calculate the weight value and loss function of each risk index, combined with the pheromone modulus, the dynamic identification of supply chain risk is realized. The comparative experimental results show that the method can achieve higher recognition accuracy when applied to the dynamic risk identification of enterprise material supply chain.

Keywords: industrial internet; ant colony optimization algorithm; supply chain; dynamic risk identification

0 引言

为提高企业整体的运行效率与降低运作成本, 众多企业采用许多精益化的战略来增强目标竞争优势, 但这些策略的采用增加了物资供应链的复杂性 with 脆弱性, 同时导致供应链风险等级增加。为精准识别出供应链风险因素, 越来越多学者对供应链风险动态识别展开了研究。文献[1]提出了利用 PAM 模型识别供应链风险因素, 对供应链数据间的相互关系进行研究, 计算风险因素和可能发生风险之间的关联度, 掌握其中的变化规律, 进而确定风险事件出现的可能性大小, 但此方法主要侧重于定性计算, 不适用于定量计算; 文献[2]提出了基于因子分析的供应链风险识别方法, 从风险指标内部的依赖关系角度出发, 将复杂的关系变量简化为相互独立的综合因子, 并通过指标分组的方式识别风险因素, 该方法属于统计分析法, 对基础数据的准确度要求较高, 且需要对数据进行多次推理复核, 运算量较

大。针对以上方法存在的不足, 笔者将工业互联网与蚁群优化算法相结合, 设计了供应链风险动态识别方法, 利用工业互联网平台对基础数据进行云端融合, 识别风险因素, 并通过蚁群优化算法最终完成供应链风险动态识别任务。

1 供应链风险动态识别方法设计

1.1 基于工业互联网的供应链风险因素识别

将工业互联网技术作为一种重要的信息化手段, 以其对供应链信息的实时、全面、准确采集和处理能力为基础, 加强了供应链风险识别与管理的效果。

现有供应链风险因素识别方法主要使用云分离模式, 缺乏有效的云集成机制来设计实时、准确和安全的风险控制决策^[3]。为保证建立的指标体系的科学性与合理性, 需要明确供应链风险管理流程, 如图 1 所示。

收稿日期: 2024-09-05; 修回日期: 2024-10-08

第一作者: 程 栋(1983—), 男, 浙江人, 硕士。

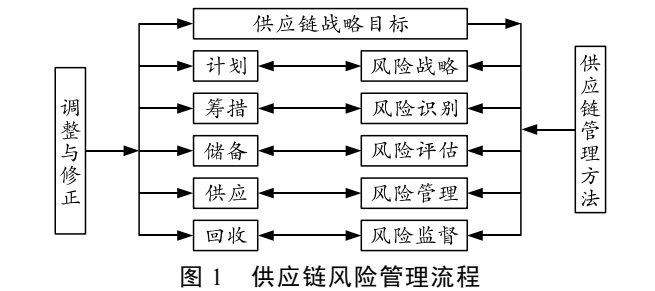
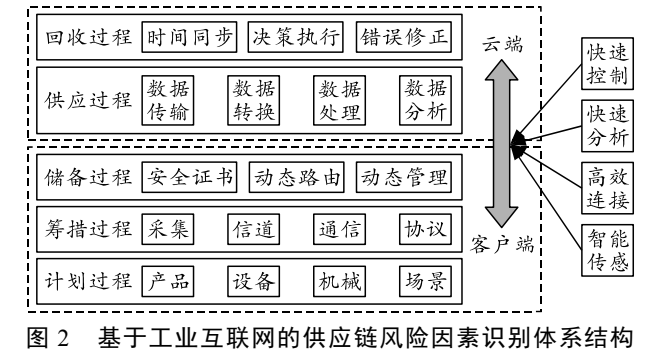


图 1 中，供应链风险管理流程包含计划、筹措、储备、供应和回收 5 部分，而每个子过程都存在许多相互联系、相互作用，可以同时实现供应链的风险识别、评估管理与监督，并通过适时调整运作过程来达到企业供应链管理的目的^[4]。

利用云端融合的工业互联网平台对供应链风险因素进行识别。基于工业互联网平台的供应链风险因素识别体系结构如图 2 所示。



工业互联网体系包括智能设备、网络互联、数据服务、决策控制及工业应用 5 层次，可完成对供应链基础设施层中异构的计划、筹措、储备、供应、回收以及其他信息进行感知，实现供应链物资产品的数据信息采集^[5]。笔者主要从 6 方面分析供应链风险因素。

- 1) 规划过程中的风险因素。
- 在制定物流支持需求计划以满足材料融资、储存和配送要求的过程中，存在因计划目标或计划流程不合理而导致供应链出现风险事件的可能性。包括战略规划风险、战略目标风险以及文化影响因素。
- 2) 筹措过程中的风险因素。
- 在通过各种方式或渠道获取材料、设备及服务的过程中，存在因产品采购价格或成本控制不当而导致供应链出现风险事件的可能性^[6]。包括供应商的选择、供应商的交货时间以及采购价格。
- 3) 储备过程中的风险因素。
- 在储存与准备供应物资的过程中，存在由于准备不充分或储存方式不合理而造成供应链损害的可能性。包括商品流通控制、财务管理控制、技术平

台运营以及企业制度与法律法规。

4) 供应流程中的风险因素。

在通过物流渠道将所需材料运输到客户需求点的过程中，供应链可能会因不正确的交货时间、地点、对象等而受损，进而引发风险事件。包括配送体系的完善性、配送人员的管理以及配送技术的适用性^[7]。

- 5) 回收过程中的风险因素。
- 在修复可用材料和处理废弃材料的过程中，由于产品退回原因、退回路径等因素导致供应链受损的可能性。包括产品质量和退回方式的处理。
- 6) 其他风险因素。
- 根据以上对供应链风险管理流程及风险因素的分析，得到了供应链模式各个环节中的风险指标因素，为风险因素指标体系的初步建立提供了便利。

1.2 建立风险识别指标体系

为明确各风险因素与供应链风险事件之间的具体影响关系，笔者通过构建风险识别指标体系进行说明。供应链的内部和外部指标被确定为第一级指标^[8]，供应链的总体风险即为上述说明的 6 种风险指标，可以设置第二级指标，对二级指标进行进一步分析，获取更加精细的三级指标^[9]。由此建立风险识别指标体系，如表 1 所示。

表 1 供应链风险识别指标体系		
一级指标	二级指标	三级指标
内部指标	规划流程风险	战略规划过高或者过低
		供应链上各成员战略目标不一致
		企业内部员工素质不高
	筹措流程风险	企业供应链的多元文化
		企业供应商的选择不当
	企业的供应商不能按时交货	商品的采购价格过高
外部指标	储备流程风险	商品产品成本控制不到位
		商品流通过程控制不当
	供应流程风险	平台软件设计不合理
		物流配送体系信息化程度不高
	回收流程风险	配送人员管理不科学
		配送技术落后
其他风险因素	退回方式处理不当	因质量问题导致退回
		退回使得企业的成本增加利润减少
		自然灾害等突发事件
	政府的产业政策	宏观经济的运行状况
		合作伙伴的自利行为
		合作伙伴之间利益分配不均
	合作伙伴之间的不信任	合作伙伴逃避履行义务
		市场需求不确定性
		竞争对手过多
	客户流失率较高	

表 1 中的各级指标不仅可定性识别供应链风险,而且能够结合企业的历史数据库中的历史数据对供应链风险进行定量分析^[10]。在识别初始,可指定不同指标的波动范围,并通过风险识别模型确定变更后的指标类别。当指标发生突变或超出预先设定的波动范围(且变化不是良性的)时,即可根据指标体系确定该风险因素所属的上级指标,并及时采取控制措施。

1.3 基于蚁群优化算法的供应链风险识别

在寻找最优特征的过程中,为扩大满意解的空间范围,并筛除掉其中可能存在特征以及冗余因素的影响,同时,避免陷入局部极值的问题,笔者采用蚁群优化算法完成供应链风险识别任务,其具体流程如图 3 所示。

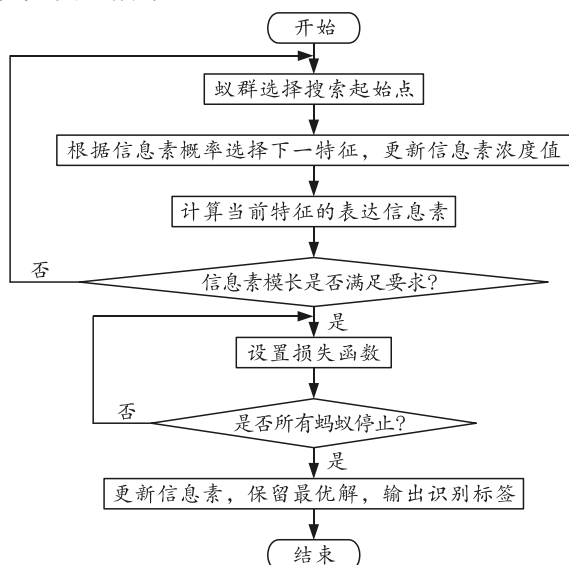


图 3 基于蚁群优化算法的供应链风险识别流程

由于供应链风险中的危险因素包含其他随机性影响因子,所以利用蚁群优化算法引入信息素常数,以消除不确定因素的波动性。蚂蚁在迭代初始,由于各个特征子集尚未被选择,可以设置各个特征子集上信息素的初始浓度相等,以增加蚂蚁在选择时的随机性,实现其自由度最大化^[11]。避免为不同情感特征设置不同初始参数。

采用 x_1 表示计划信息素, x_2 表示筹措信息素, x_3 表示储备信息素, x_4 表示供应信息素, x_5 表示回收信息素, x_{ij} 表示第 i 个信息素中第 j 个特征,对于内部因素不足的信息素采用零补齐^[12]。

在底层信息素初始特征的基础上,对底层信息素向顶层信息素的传输过程进行信息转化,转化公式如下:

$$u_{j|i} = w_{ij} x_i \quad (1)$$

式中: w_{ij} 为底层第 i 个信息素向上层第 j 个信息素转化过程中的权重矩阵; $u_{j|i}$ 为转化过程中的信息素浓度变化值。

每个底层信息素对顶层信息素的直接权重值是不同的,权重值的大小表征了顶层信息素对底层信息素的影响力^[13]。为保证每个底层信息素均能够顺利向顶层转化,利用转化概率转移公式进行调节,如式(2)所示:

$$c_{ij} = \exp(m_{ij}) / \sum \exp(m_{ij}) \quad (2)$$

式中: c_{ij} 为信息素转化概率转移; m_{ij} 为信息素 i 和信息素 j 之间的转移信息,其计算公式如下:

$$m_{ij} = c_{ij} u_{j|i} \quad (3)$$

蚂蚁种群信息素的动态变化参数 β 为:

$$\beta = \beta_0 (1 - \alpha / N) \quad (4)$$

式中: β_0 为蚂蚁信息素的初始浓度; α 为信息素启发因子; N 为信息素常量。

将所有底层信息素向顶层信息素转化过程中的转移信息进行求和,得到综合信息素转移信息^[14],可表示为:

$$s_j = \rho \sum_i \beta m_{ij} \quad (5)$$

式中: s_j 为底层第 j 个信息素,包括所有底层信息素转移信息; ρ 为蚁群启发函数因子,其计算公式为:

$$\rho = \rho_0 (1 - N) \quad (6)$$

式中 ρ_0 为信息素残留的初始值。

为简化综合转移信息,将其信息素模长控制在 $[0, 1]$ 之间,利用下列挤压函数实现:

$$v_j = \|s_j\|^2 / (1 + \|s_j\|^2) \quad (7)$$

蚁群在搜索空间的搜索规则主要遵循信息素模长。为使较为优秀的蚂蚁个体具有的信息素模长较大,而稍劣质的蚂蚁个体的信息素模长较小^[15],采用的损失函数:

$$L = N_k \max(0, \pi^+ - \|v_j\|)^2 + \lambda (1 - N_k) \quad (8)$$

式中: π^+ 、 λ 为超参数; N_k 为标签值,采用了独立编码,表示这个信息素属于第 k 个类别。

利用式(8),通过计算风险因素对应信息因素的损失函数,得出所属类别标签,即可实现供应链风险识别。

2 实验论证

在建立的供应链风险指标体系与风险识别模型的基础上,笔者选取某电力公司的物资供应量作

为研究对象，对该电力系统的供应链风险进行识别研究。

2.1 项目概况

该电力公司的电力物资供应链内容主要包括协调管理、组织建设管理、工程的勘测设计、相关设备的采购、运输及安装以及工程相关材料的采购等。该公司目前的供应链特点为：建立了基本完备的供应商体系，有专职管理供应商的职能部门，对供应商开发、准入、评价、淘汰等进行管理；在 ERP 系统信息化手段支撑下开展供应商以及客户协同作业；研发技术部门深度介入供应商；针对产品认证和客户认证等有专业的质量部门予以内部审核、外部放行、委托第三方资质认证等资质管理；依据市场情况基本建立了销售、采购和财务预算制度；强力推行项目制管理组织方式，用于控制项目执行风险；拥有默契的技术合作渠道平台，培养了一批深入合作的供应商。

2.2 实验准备

根据笔者设计的风险识别方法，实验中设计的内容包括 5 部分，每部分都对应相应的若干指标，根据该项目的实际情况，并通过调研参与该公司项目的相关管理人员，运用上述对风险指标体系的建立原则，确定了该公司物资供应链的风险指标，具体如表 2 所示。

表 2 某电力公司物资供应链风险指标体系

一级风险指标	二级风险指标
计划风险	供应链业务流程不合理
	供应链结构不合理
	缺乏信息共享机制
配送与交付风险	配送方式选择不当
	调试运行不当
	配送技术不成熟或配送设备故障
退货风险	设备、材料的退货方式
	设备、材料的退货线路

2.3 实验说明

实验前先将实验数据集根据其风险指标所属类别打好标签，并选取其中的 70%作为实验训练集，其余参照 1:2 的比例划分验证集与测试集。即训练集有 32 823 个，验证集有 4 689 个，测试集有 9 378 个。

实验中设定蚁群算法中的蚂蚁信息素的期望启发因子 $\beta=0.8$ ，信息素常量为 100，状态转移概率 $p=0.02$ ，蚁群运动过程中的启发函数选择激活函数，循环路径上的信息素增量策略遵循最短路径上释放

的信息素量。基于以上实验准备及算法参数设置，利用笔者设计的方法对该电力公司系统的物资供应链风险进行动态识别，以测试所提方法的实际应用性能。

2.4 供应链风险动态识别结果

根据构建的风险指标体系与风险识别框架，采用笔者所提方法对供应链风险进行识别，并通过计算各风险指标的权重值，输出风险所属标签，并与实际结果相比较，以评判设计的方法的可行性，识别结果如图 4 所示。

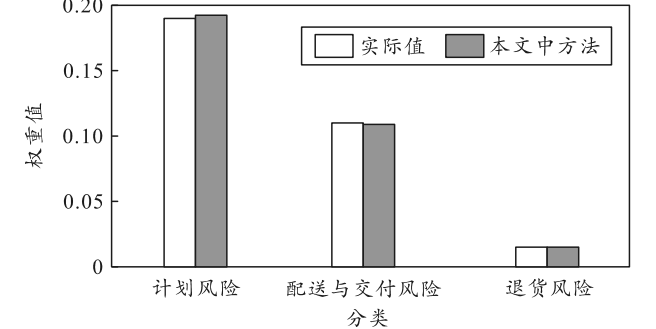


图 4 供应链风险动态识别结果

图 4 中，利用笔者所提方法计算不同风险指标的权重值，可视化了高层风险与底层因素之间的关系，计算得出的结果与实际值基本一致；其中，退货风险的权重值与真实值相同，表明笔者所提方法的识别准确率较高。这是因为所提方法采用了广义 S 变换和经验模态分解等多种信号处理和特征提取技术，能够有效地识别和提取不同风险指标之间的关系，并计算出其权重值；因此，能够对信号进行高效、准确的分析和处理，从而提高了风险指标的识别准确率。

2.5 识别准确率对比实验分析

为体现出基于工业互联网和蚁群优化算法的供应链风险动态识别方法的优越性，笔者同时采用基于 PAM 模型的供应链风险识别方法(方法 1)^[1]、基于因子分析的供应链风险识别方法(方法 2)^[2]与本文中方法作对比。在训练集上训练 3 种识别方法，然后在同一数据集上运行所有训练方法 10 次。识别方法的最终识别正确率是 10 次的平均值。对比结果如图 5 所示。

从对比结果分析可得：设计的方法的识别正确率在 10 次测试中，均达到了 90%以上，其中最高为 98.9%，远超出其他 2 种方法。方法 1 识别效果欠佳的原因主要是该方法受限于初始化参数的影

响,对于较为复杂的数据集,无法捕捉良好的初始化参数;方法2对建立的识别模型核函数的要求较高,而实验数据集的维度较高,使得模型在提取数据特征参数时易丢失重要信息,导致识别效果不理想;而笔者设计的方法采用了对高维数据具有较强特征提取能力的技术,能够在处理高维数据时更好地捕捉数据的特征信息,并减少信息丢失的风险,且不受初始化参数的影响,故指标效果较好。

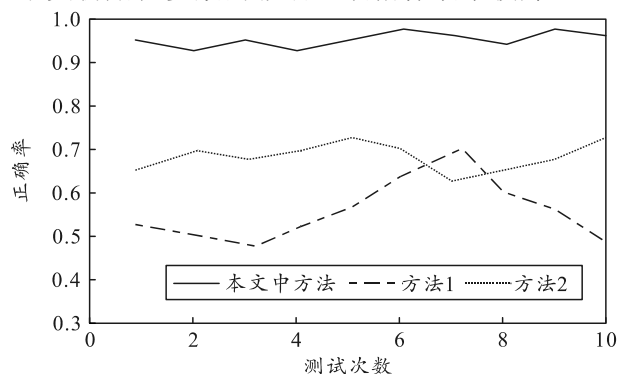


图5 不同识别方法测试正确率对比结果

3 结束语

笔者从供应链内部和外部风险的角度对企业供应链风险的显在和潜在影响因素进行分析,并初步构建风险指标体系,重点以风险指标与风险事件之间的关系为切入点,利用工业互联网与蚁群优化算法设计了供应链风险动态识别方法,并通过仿真实例,证明了设计方法的有效性。

参考文献:

- [1] 王天宇, 窦永香, 温浩宇. 一种基于 PAM 模型的芯片供应链风险识别方法[J]. 情报理论与实践, 2022, 45(11): 126-135.
- [2] 陈洁. 基于因子分析的港口服务供应链关键风险因素识别[J]. 中国储运, 2021(9): 98-99.
- [3] 邵懿. 供应链金融下电商企业融资风险识别与控制研究——以京东金融产品京保贝为例[J]. 国际商务财会, 2021(14): 58-62.
- [4] 王江华, 朱雪欣, 宋兆龙. 基于界面管理的装配式建筑供应链集成风险识别与评价[J]. 青岛理工大学学报, 2020, 41(1): 41-49.
- [5] 田思雨, 李勇建. 智能网联汽车供应链风险识别与评价研究[J]. 供应链管理, 2022, 3(7): 37-51.
- [6] 伍艳秋. 基于国有贸易商视角的大宗商品交易融资风险识别与防范[J]. 企业改革与管理, 2021(15): 12-13.
- [7] 杨菁, 梁丰. 宁波市汽车零部件企业供应链风险识别研究[J]. 浙江万里学院学报, 2021, 34(4): 96-100.
- [8] 刘永胜, 毛伍蕾, 任斯琪. 基于供应链视角的网购食品安全风险识别与评估[J]. 食品与机械, 2021, 37(6): 102-108.
- [9] 刘明菲, 张潇迪, 冉雅璇, 等. 基于 Grey-DEMATEL 的零售供应链中断风险识别与评价研究[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版), 2021, 43(3): 248-256.
- [10] 许慧敏. “一带一路”背景下农产品供应链风险识别与评估[J]. 商业经济, 2020(1): 133-135, 157.
- [11] 纪玲珑. 物联网金融模式下科技型中小企业供应链融资风险识别与控制研究[J]. 中国管理信息化, 2020, 23(4): 125-127.
- [12] 杨祖勇. 汽车零部件供应链风险识别及管控对策[J]. 中国高新科技, 2020(12): 104-105.
- [13] 赵鑫. 农产品供应链安全诚信风险识别与评估[J]. 山西农经, 2021(3): 121-122.
- [14] 马向国, 阿明·施瓦金. 基于 SCOR 模型的跨国制造企业供应链风险识别[J]. 供应链管理, 2020, 1(11): 69-78.
- [15] 李文帝, 曾祥泰, 许晓逸, 等. 新农村建设背景下农产品供应链的风险识别与控制[J]. 物流工程与管理, 2020, 42(6): 83-86.