

8-13-2020

## Failure Risk Identification Model and Simulation of Supply Chain Under O2O E-commerce Model

Zhang Hao

*Business School, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;*

Mingkun Wang

*Business School, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;*

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

---

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

---

## Failure Risk Identification Model and Simulation of Supply Chain Under O2O E-commerce Model

### Abstract

**Abstract:** With the expansion of Online to Offline (O2O) e-commerce market size, how to effectively prevent the occurrence of supply chain failure risk becomes the key factor to ensure O2O e-commerce market to operate well. The key influencing factors of the supply chain failure risk were analyzed and sorted. Based on causal relationship between various influencing factors, *Bayesian network* was constructed to analyze crucial factors. The application of triangle fuzzy number was introduced to gather value of conditional probability of Bayesian network. A case study on the failure risk identification model of fresh agricultural product supply chain under O2O model was made by using simulation software.

### Keywords

supply chain, Bayesian network, failure risk, triangular fuzzy-number, conditional probability

### Recommended Citation

Zhang Hao, Wang Mingkun. Failure Risk Identification Model and Simulation of Supply Chain Under O2O E-commerce Model[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(11): 2747-2755.

# O2O 模式下供应链失效风险识别模型及仿真

张浩, 王明坤

(北京工商大学商学院, 北京 100048)

**摘要:** 电子商务 O2O 模式的市场规模不断扩大, 如何有效防范 O2O 模式下供应链失效的风险, 成为确保电商 O2O 良好运营的关键。对 O2O 模式下供应链失效风险的关键影响要素进行研究, 并根据各影响要素之间的因果关系构建 O2O 模式下供应链失效风险识别的贝叶斯网络结构, 运用三角模糊数方法获取贝叶斯网络条件概率值。以生鲜农产品供应链为例, 构建 O2O 模式下供应链失效风险识别模型, 并进行仿真研究。

**关键词:** 供应链; 贝叶斯网络; 失效风险; 三角模糊数; 条件概率

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2016) 11-2747-09

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.201611015

## Failure Risk Identification Model and Simulation of Supply Chain Under O2O E-commerce Model

Zhang Hao, Wang Mingkun

(Business School, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China)

**Abstract:** With the expansion of Online to Offline (O2O) e-commerce market size, how to effectively prevent the occurrence of supply chain failure risk becomes the key factor to ensure O2O e-commerce market to operate well. The key influencing factors of the supply chain failure risk were analyzed and sorted. Based on causal relationship between various influencing factors, *Bayesian network* was constructed to analyze crucial factors. The application of triangle fuzzy number was introduced to gather value of conditional probability of Bayesian network. A case study on the failure risk identification model of fresh agricultural product supply chain under O2O model was made by using simulation software.

**Keywords:** supply chain; Bayesian network; failure risk; triangular fuzzy-number; conditional probability

## 引言

供应链是由相互关联的企业组成的网络, 这些企业按照不同的方式联系在一起, 在满足顾客需求的情况下达到降低成本的目的。供应链管理在为全球经济带来低成本、高效益的同时, 也为经济的发展带来了新的风险与挑战。由于供应链

管理将上下游所有企业结合在一起, 因此各节点企业间存在着较高的协同度, 各节点之间容易引起连锁反应<sup>[1]</sup>。如果供应链中某个节点失效, 则会导致失效迅速波及其它节点, 从而使整个供应链系统失效。供应链失效风险识别通过运用管理科学、运筹学等相关理论与方法, 发现供应链网络中存在的可能风险, 及时采取纠偏措施, 保证供应链系统能够高效、灵活运行。

## 1 研究现状

关于供应链的相关问题, 国外学者已经进行了大量的研究。Philip Beske, Stefan Seuring<sup>[2]</sup>从可持



收稿日期: 2016-02-19 修回日期: 2016-03-21;  
基金项目: 国家社会科学基金(15BGL202), 北京市教育委员会社科计划面上项目(SM201410011002), 教育部人文社会科学青年项目(14YJC630114), “十二五”农村领域国家科技计划课题研究任务(2015BAD18B01), 2016年研究生科研能力提升计划  
作者简介: 张浩(1978-), 男, 河北唐山, 博士, 副教授, 研究方向为供应链系统建模与仿真。

<http://www.china-simulation.com>

• 2747 •

续性、连续性、合作、风险管理与主动性五个方面来进行可持续供应链管理。Philip Leat, Cesar Revoredo-Giha<sup>[3]</sup>考察了苏格兰地区的主要猪肉供应链,指出了在弹性农产品供应系统开发中的关键风险和挑战,如何在相关利益者的风险管理和合作提高供应链弹性。Sanjay Sharma, Sushanth Satheesh Pai<sup>[4]</sup>利用贝叶斯网络来研究冷链供应链,有助于政府和非政府机构分析冷链的有效性,为投资者分析不同地域的冷链提供投资决策。Vincent J.L Gan, Jack C.P Cheng<sup>[5]</sup>提出基于 Agent 模型建筑垃圾回填的动态供应链管理,通过协商算法进行供应链结构优化,进而降低回填运输成本。Martin Tidy<sup>[6]</sup>等人以英国超市行业供应商为例,研究供应商关系管理在减少食品供应链中的温室气体排放中的作用。Fazleena Badurdeen, Mohannad Shuaib<sup>[7]</sup>等人提出一种多层次的供应链风险建模和分析方法,根据贝叶斯理论分析事件之间的条件关系,评估对供应链绩效产生影响的因素。

国内关于供应链失效研究主要使用故障树分析法、风险矩阵法、模糊综合评价法等方法进行分析。李守泽<sup>[8]</sup>等人运用故障树分析法和模糊理论,分析了供应链中的风险,并利用正态模糊算子来进行供应链风险的概率计算;李恩平<sup>[9]</sup>等人将供应链可靠性的故障树诊断模型转换为贝叶斯网络的有向无环图,利用贝叶斯网络对供应链的可靠性进行诊断、分析;胡伟,程幼明<sup>[10]</sup>利用改进的 DEMATEL 方法分析其在供应链失效中的应用,并通过层次划分验证其合理性和有效性;有的学者则从节点企业间协同性出发分析供应链网络的可靠性,并提出将多层 Bayes 方法应用到供应链网络可靠性评估模型中<sup>[11]</sup>。

本文利用贝叶斯网络建立风险识别模型,通过三角模糊数获取相关参数值,从生鲜农产品的角度来研究 O2O 模式下生鲜农产品供应链失效的风险识别。相比于故障树分析法、风险矩阵法与模糊综合评价法这些方法,贝叶斯网络则是将贝叶斯方法与图形理论相结合,将先验知识与样本信息结合起来,能够处理不完全数据,是数据挖掘和不确定性表示的理想模型。贝叶斯网络首先从定量的角度分

析问题,其次从定性方面描述了各变量之间的因果关系及其概率值。在供应链线上线下的融合模式中,某些环节往往会出现一些无法预知的状况,而贝叶斯网络则可以通过其逆向推理功能,并利用其后验概率,从而找出影响事故发生的关键节点。

## 2 O2O 模式下供应链系统风险识别模型

### 2.1 贝叶斯网络

贝叶斯网络(Bayesian Network)是 1988 年 Judea Pearl 提出的一种基于概率不确定性推理网络,又称信念网络、因果概率网络等。贝叶斯网络是贝叶斯方法与图形理论的有机结合,在研究不确定性问题方面发挥着重要作用,它是基于概率和统计理论,具有较强的推理能力与方便决策的优点。

贝叶斯网的算法基础主要是应用贝叶斯公式<sup>[12]</sup>。

#### (1) 贝叶斯公式

设实验 E 的样本空间  $\Omega$ , B 为 E 的事件,事件  $A_1, A_2, \dots, A_n$  互不相容,  $A_1, A_2, \dots, A_n$  为完备事件组,即  $\bigcup_{i=1}^n A_i = \Omega, A_i A_j = \emptyset, P(A_i) > 0$ ,

则根据乘法定理和条件概率得:

$$P(A_i | B) = \frac{P(B | A_i)P(A_i)}{\sum_{i=1}^n P(B | A_i)P(A_i)}$$

上式就是贝叶斯网络在推理时所应用的贝叶斯公式。其中,  $P(A_i)$  表示先验概率,  $P(A_i | B)$  表示后验概率。依靠先验概率进而推导出后验概率就是运用贝叶斯公式实现的。

#### (2) 联合概率分布

假设贝叶斯网络中的 n 个节点分别表示为  $X_1, X_2, \dots, X_n$ 。节点的取值用小写字母表示,如节点  $X_i$  的取值为  $x_i$ 。对于含有 n 个节点的贝叶斯网络,由链式法则可得联合概率分布为:

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | X_1, X_2, \dots, X_{i-1}) \quad (1)$$

若记  $X_i$  的父节点集合为  $parent(X_i)$ , 则关于节点  $X_i$  的条件概率为:

$$P(X_i | X_1, X_2, \dots, X_{i-1}) = P(X_i | \text{parent}(X_i)) \quad (2)$$

因此, 上式可以简化为

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n p(X_i | \text{parent}(X_i))$$

式(2)为根据条件独立性进行化简得到的 Bayesian 网络联合概率分布。通过此方法可以简化概率分布的计算。

贝叶斯网络的参数学习实质上是在已知网络结构的条件下, 来学习每个节点的概率分布表。早期的贝叶斯网的概率分布主要是由专家的知识来进行确定的, 但是这种仅仅凭借专家经验来分析的方法, 会导致与观测数据之间产生较大的偏差。当前比较流行的方法是从数据中学习这些参数的概率分布, 然后做进一步的分析计算。贝叶斯网络的一个重要特点是对现实世界进行直接描述, 而不是其推理的过程。贝叶斯网络是对抽象问题领域难描述的部分给予直观的宏观描述。本文使用的建模方式, 首先由专家知识建立贝叶斯网络, 进而根据对数据学习修正路贝叶斯网络<sup>[13]</sup>。

贝叶斯网络建模主要分为定性和定量两个部分。定性部分: 根据专家知识经验列出网络节点的内容和个数及各个节点的主从关系, 最终确定贝叶斯网络拓扑结构; 定量部分: 根据统计数据可以得到各个子节点和父节点的条件概率值。

### 3 O2O 模式下供应链失效风险识别模型的贝叶斯网络模型

本文以生鲜农产品为例, 研究 O2O 模式下生鲜农产品供应链失效风险识别模型。互联网技术的不断发展和进步, 使得电子商务快速发展。艾瑞咨询统计数据显示, 2014 年中国的电子商务市场交易规模达到 12.3 万亿元, 比 2013 年提升了 21.3%, 其中网络购物增长 48.7%, 2014 年中国生活服务 O2O 市场规模为 2 480.1 亿元, 本地生活服务 O2O 增长 42.8%; 而 2015 年第二季度中国电子商务市场整体交易规模为 3.75 万亿元, 同比增长 22.1%, 环比增长 7.8%。随着移动互联网的高速发展, 满足人们日常需求的 O2O 平台层出不穷, 遍布人们

的衣食住行和娱乐等方面<sup>[14]</sup>。

生鲜农产品作为关系民生的最重要的问题之一, 如何融入到电子商务大潮之中, 已经成为农业信息化的热点问题。由于生鲜农产品含水量高、保鲜期限短、易腐烂的特殊性, 使得生鲜电商一直是农产品流通领域的重点和难点, 占领了生鲜农产品的高地, 就等于占领了农产品电商的制高点。因此, 国内各大电子商务平台企业开始将生鲜农产品作为新的重点发展领域, 此外还出现了一大批以本来生活、美味七七为代表的垂直专业化的生鲜电商 O2O 企业。

#### 3.1 确定贝叶斯网络节点与值域

遵循代表性、有效性、独立性原则, 根据相关资料并结合专家意见, 将生鲜农产品 O2O 模式下供应链失效风险识别通过贝叶斯网络建立起模型, 确定了其中的 28 个因素, 形成了五级层次结构, 并将其影响因素分为 28 个网络节点。

生鲜农产品 O2O 模型下供应链模型是将供应链上的生产商、供应商、服务提供商与顾客结合起来统筹考虑, 以最终的顾客满意度为衡量指标, 该模型能够充分反应供应链失效风险中的各影响因素。

#### 3.2 产品质量因素

产品质量作为生鲜农产品 O2O 模式下供应链衡量的一个重要指标, 直接影响着顾客满意度的评价, 主要体现在农产品采摘技术、仓储技术水平、包装技术水平、生鲜农产品破损率及生鲜农产品保鲜期限 5 个方面<sup>[15]</sup>:

(1) 农产品采摘技术主要体现在农产品采摘过程中的工具使用及采摘后的处理技术, 农产品的挑选、分级、修整等环节, 使得农产品便于运输、储存和销售过程中减少质量的损失;

(2) 仓储技术水平是指农产品采摘处理后的冷藏技术、保鲜技术等方面, 降低农产品的自身损耗;

(3) 包装技术水平是指生鲜农产品为了减少水分损失、提升产品价值、促进产品销售进行包装处理, 体现在包装材料、包装方式、包装设备等方面;

(4) 生鲜农产品破损率对产品质量的影响表现在生鲜农产品的运输过程中损耗、销售过程的破损;

(5) 生鲜农产品的水分含量高、易腐烂的特性决定了生鲜农产品的保鲜期限。

### 3.3 产品价格因素

产品价格对生鲜农产品 O2O 模式下顾客满意度的影响主要表现在采购成本、逆向成本、持有成本与运输成本 4 个方面:

(1) 采购成本影响因素主要体现在生鲜农产品的采购次数、采购数量、农产品采购企业的信用水平与议价能力等方面;

(2) 逆向成本是指生鲜农产品销售过程中的包装材料的回收、销售信息的收集与反馈与农产品的退货等;

(3) 持有成本体现在农产品销售商为了应对市场的不确定变化而准备的安全库存, 以及为了满足消费者日常需求而产生的周转库存等方面而产生的成本。生鲜农产品的独特性决定了存货的灵活性, 应避免过高的持有成本;

(4) 运输成本是指生鲜农产品从销售商到最终消费者所产生的装卸、搬运, 对于一些有特殊要求的生鲜农产品需要采用特殊包装, 需要使用冷链物流进行配送。

### 3.4 服务水平因素

服务水平对顾客满意度的影响体现在物流水平、外部环境因素, 而物流水平受到配送能力、配送效率与物流资源利用率等方面的影响, 外部环境影响因素表现在资本水平、信息化水平、人员能力及政策法规方面。

(1) 物流水平是指 O2O 模式下生鲜农产品的网上的订单处理能力与配送效率, 同时指技术设备、基础设施等物流资源的利用效率。

(2) 外部环境表现在知识结构比例、从业者技能水平的人员能力方面, 市场预测准确性、生鲜农产品信息的及时性的信息化水平方面, 以及政策法规、资本水平等方面。

贝叶斯网络中各节点的序号、值域如表 1 所示。

表 1 贝叶斯网络的值域

序号	节点	值域
A	顾客满意度	(0, 1)
A <sub>1</sub>	产品质量	(0, 1)
A <sub>2</sub>	服务水平	(0, 1)
A <sub>3</sub>	产品价格	(0, 1)
B <sub>1</sub>	技术水平	(0, 1)
B <sub>2</sub>	生鲜农产品破损率	(0, 1)
B <sub>3</sub>	生鲜农产品保鲜期	(0, 1)
B <sub>4</sub>	物流水平	(0, 1)
B <sub>5</sub>	外部环境	(0, 1)
B <sub>6</sub>	运输成本	(0, 1)
B <sub>7</sub>	持有成本	(0, 1)
B <sub>8</sub>	逆向成本	(0, 1)
B <sub>9</sub>	采购成本	(0, 1)
C <sub>1</sub>	配送能力	(0, 1)
C <sub>2</sub>	配送效率	(0, 1)
C <sub>3</sub>	物流资源利用率	(0, 1)
C <sub>4</sub>	人员能力	(0, 1)
C <sub>5</sub>	信息化水平	(0, 1)
C <sub>6</sub>	资本水平	(0, 1)
C <sub>7</sub>	包装技术水平	(0, 1)
C <sub>8</sub>	仓储技术水平	(0, 1)
C <sub>9</sub>	农产品采摘技术	(0, 1)
D <sub>1</sub>	技术设备利用率	(0, 1)
D <sub>2</sub>	基础设施利用率	(0, 1)
D <sub>3</sub>	知识结构比例	(0, 1)
D <sub>4</sub>	从业者技能水平	(0, 1)
D <sub>5</sub>	市场预测准确性	(0, 1)
D <sub>6</sub>	生鲜农产品信息的及时性	(0, 1)

## 4 贝叶斯网络构建

贝叶斯网络结构模型的确定主要有 3 种方式:

(1) 由专家知识, 手动建立网络模型拓扑结构; (2) 是通过对数据库的分析, 自动获取贝叶斯网络结构; (3) 两阶段相结合的建模方法, 综合前两者的优势, 首先由专家知识手动建立贝叶斯网络结构, 然后通过对数据库的分析修正之前得到的贝叶斯网络模型<sup>[16]</sup>。本文利用两阶段相结合的方法构建贝叶斯网络, 如图 1 所示。

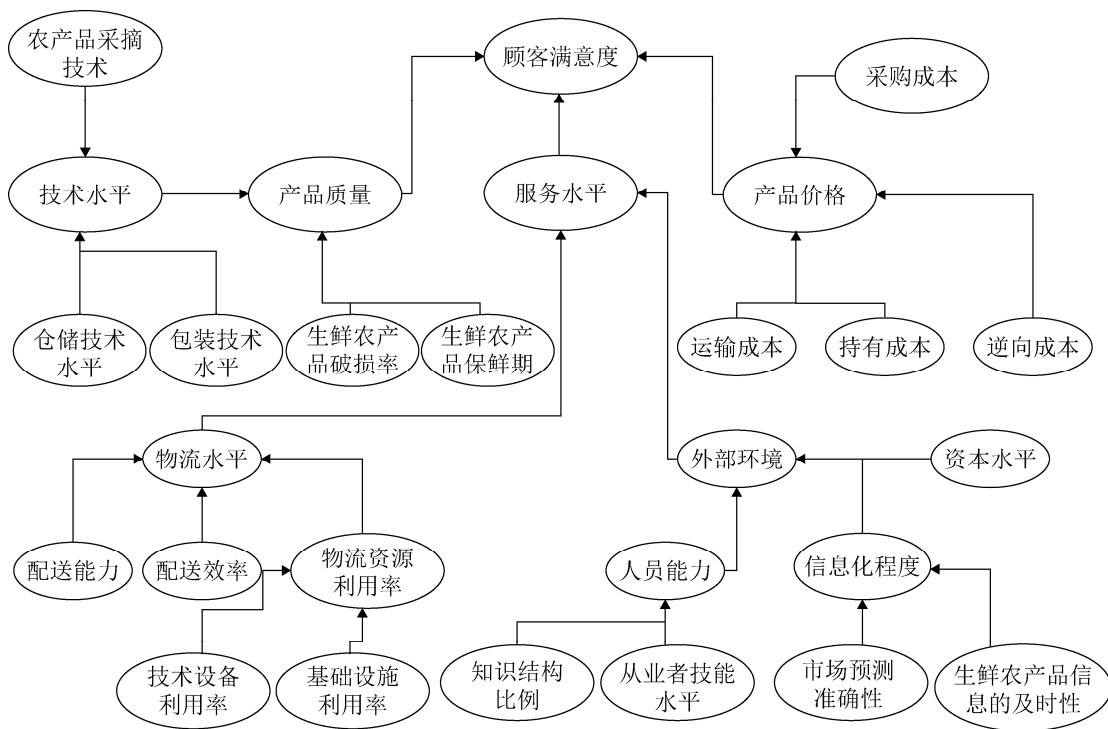


图 1 贝叶斯网络

### 4.1 贝叶斯网络中的条件概率的计算

设节点  $X_i$  的父节点集合为  $parent(X_i)$ , 共有  $n$  个, 用  $x_i$  表示  $X_i$  的取值,  $B_i$  表示父节点变量组成的向量, 向量值  $b_i$  表示向量  $B_i$  的取值, 则节点  $X_i$  的条件概率为:

$$P(X_i | parent(X_i)) = \frac{P(X_i, parent(X_i))}{P(parent(X_i))}$$

$$\frac{P(X_i = x_i, B_i = b_i)}{P(B_i = b_i)}$$

对于存在 3 个父节点的  $X_i$  来讲, 其条件概率计算如下, 当父节点均处于 State0 时, 节点  $X_i$  处于 State0 的条件概率值为<sup>[17]</sup>:

$$P(X_i = State0 | B_1 = State0, B_2 = State0, B_3 = State0) = \frac{P(X_i = State0, B_1 = State0, B_2 = State0, B_3 = State0)}{P(B_1 = State0, B_2 = State0, B_3 = State0)}$$

其中, 参量 State0 表示节点所处的状态, 其所表示具体含义可以描述成事件的状态为较差或者较好。从上述公式可知, 条件概率的计算需要大量的样本数据来满足各节点的不同取值的要求, 而且随着父节点数量的增加其计算量也在上升。在无

法获得精确概率的情况下, 需要借助群体决策的观念根据专家的经验来进行判断, 利用问卷调查的方式征询专家关于节点的条件概率并使用三角模糊数法来进行相关数据处理。

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)采用七档分级的风险发生概率的语言变量来进行概率值的描述, 各语言变量及其对应的概率值与三角模糊数如表 2 所示<sup>[18]</sup>。

概率范围	三角模糊数	表述语句
<1%	(0.0, 0.0, 0.1)	非常低
1%~10%	(0.0, 0.1, 0.3)	低
10%~33%	(0.1, 0.3, 0.5)	偏低
33%~66%	(0.3, 0.5, 0.7)	中等
66%~90%	(0.5, 0.7, 0.9)	偏高
90%~99%	(0.7, 0.9, 1.0)	高
>99%	(0.9, 1.0, 1.0)	非常高

通过问卷调查的方式获得节点的条件概率表, 并根据表 2 可以转换成三角模糊数

$$\tilde{P}_{ij}^k = (a_{ij}^k, m_{ij}^k, b_{ij}^k) (k = 1, 2, \dots, q)$$

节点  $X_i$  处于  $j$  状态的平均模糊概率值为

$$\tilde{P}'_{ij} = \frac{\tilde{P}^1_{ij} \oplus \tilde{P}^2_{ij} \oplus \dots \oplus \tilde{P}^q_{ij}}{q} = (a'_{ij}, m'_{ij}, b'_{ij})$$

进一步通过均值面积法计算节点的精确概率，

节点  $X_i$  处于  $j$  状态的精确概率为：

$$P'_{ij} = \frac{a'_{ij} + 2m'_{ij} + b'_{ij}}{4}$$

通过归一化处理得到节点的条件概率值：

$$P = \frac{P'_{ij}}{\sum P'_{ij}}$$

## 4.2 确定条件概率表

一个完整的贝叶斯网络模型包含网络拓扑结构和模型中的参数，模型参数指每个节点上的概率分布表。在确立网络拓扑结构后，需要定量的来描述各个节点之间的概率关系，这是利用贝叶斯网络进行推理的基础。于是对各个节点引入合适的条件概率表(Conditional Probability Table, CPT)。下面以一个节点的条件概率表来举例说明，如表 3 所示。

表 3 物流资源利用率的条件概率表

条件		三角模糊数		概率	
State0	State1	State0	State1	State0	State1
D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub>	—	(0.10,0.23,0.43)	(0.37,0.57,0.73)	0.31	0.69
D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	(0.17,0.37,0.57)	(0.43,0.63,0.83)	0.37	0.63
D <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>	(0.23,0.43,0.63)	(0.37,0.57,0.70)	0.45	0.55
—	D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub>	(0.13,0.30,0.50)	(0.63,0.83,0.97)	0.27	0.73

通过条件概率表可以清楚地看出在父节点 D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> 状态发生的条件下，节点 C<sub>3</sub> 在两种状态下的发生概率。例如，在 D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> 都不发生的情况下，C<sub>3</sub> 也不会发生的概率为 31%；在 D<sub>1</sub> 发生、D<sub>2</sub> 不发生的情况下，C<sub>3</sub> 发生的概率为 55%。

## 5 实证研究

### 5.1 数据获取

为了真实反应 O2O 模式下生鲜农产品供应链失效风险的影响因素，以及进行比较客观的评价，收集影响生鲜农产品供应链中顾客满意度的相关资料，并根据专家意见，首先确定了贝叶斯网络中根节点的概率值。对于非根节点的条件概率值则通过问卷调查的方式获取，并采用三角模糊数来统计各影响因素的条件概率值。问卷调查主要通过 E-mail 的形式展开，针对典型的生鲜农产品 O2O 电商企业中果在线的供应链数据，邀请了 6 位相关专家参与到 O2O 模式下生鲜农产品供应链失效风险的影响因素评估中，根据 IPCC 量表对各父节点处于不同节点状态时子节点的发生概率值进行客

观评估，对其结果进行加权平均，并对节点概率值的进行修改调整。

### 5.2 结果分析

在影响因素分析中应用贝叶斯网络得到 O2O 模式下生鲜农产品供应链失效风险模型中各因素的影响程度，并应用贝叶斯网络具有双向推理的特性，找到影响顾客满意度的主要因素，有针对性的提出合理化建议，提高顾客满意水平，降低 O2O 模式下生鲜农产品供应链失效发生的风险。通过贝叶斯网络中节点 A 在 State0 状态下的概率可知，概率越高，表明顾客满意度的水平越差，即 O2O 模式下生鲜农产品供应链失效发生的可能性越大。

GeNIe(Graphical Network Interface)是美国匹兹堡大学决策系统实验室开发的用以构建图形决策理论模型的仿真软件，其具有可视化界面，便于贝叶斯网络模型的构建与分析。GeNIe 软件同时能够进行贝叶斯网络的学习和推理，支持结构和参数学习，但只能处理离散变量。本文所使用的为 GeNIe 2.0，其主要用于学术研究，能够建立大规模节点的复杂贝叶斯网络模型。GeNIe 2.0 需要输



入的变量为各根节点的先验概率值, 非根节点的条件概率值, 输出的变量则为各节点的先验概率值与后验概率值。

通过对调查问卷数据进行分析整理, 并将其录入贝叶斯仿真软件 GeNIe 中进行仿真模拟, 可以得出各个节点的概率值, 其中“State0”表示状态较差, “State1”表示状态良好, 如图 3 所示。

(1) 根据贝叶斯网络的逆向推理, 当顾客不满意时即  $P(A = \text{State0}) = 1$ , 可认为此时供应链失效风险发生, 服务水平、产品价格与产品质量对顾客不满意的影响程度依次减弱。

根据 GeNIe 软件对贝叶斯网络的模拟仿真推理知, 服务水平对供应链失效风险发生时的影响程度最大, 其相应的概率值为 37%, 其次是产品价格与产品质量。供应链失效风险的最大致因链为{基础设施利用率→物流资源利用率→物流水平→服务水平→顾客满意度}, 如图 4 所示。

通过实际评价结果与影响因素问卷调查可知, 顾客首先重视服务水平质量, 其次是产品价格与产品质量。生鲜农产品电商消费群体主要是

年轻人, 特别是年轻上班族快节奏的生活方式更加符合生鲜农产品电商“快捷”、“足不出户”等卖点。这部分受众群体收入水平相对较高, 购买力较强, 因此对于这部分消费者来说价格是次要因素, 他们更加关心生鲜电商企业能否准时高效的把产品送达。生鲜农产品的市场竞争日益激烈, 由于行业门槛较低, 涌现出大批 O2O 生鲜农产品电商企业。为了防止 O2O 模式下生鲜农产品供应链失效风险的发生, 电商企业应特别注重服务水平的改善, 提升配送效率和配送能力, 为顾客提供优质的服务体验。

(2) 敏感性分析可以帮助确定更有影响力的参数, 即对贝叶斯网络中的推理结果影响更显著。通过贝叶斯网络的敏感性分析, 可以帮助 O2O 模式下的生鲜农产品电商企业做出正确决策, 对高敏感性的影响因素应给予更多的重视, 保证供应链灵活、高效运行。以顾客满意度与物流水平两个节点为例, 对 O2O 模式下生鲜农产品失效风险识别模型的贝叶斯网络进行敏感性分析, 其结果如图 5 所示。

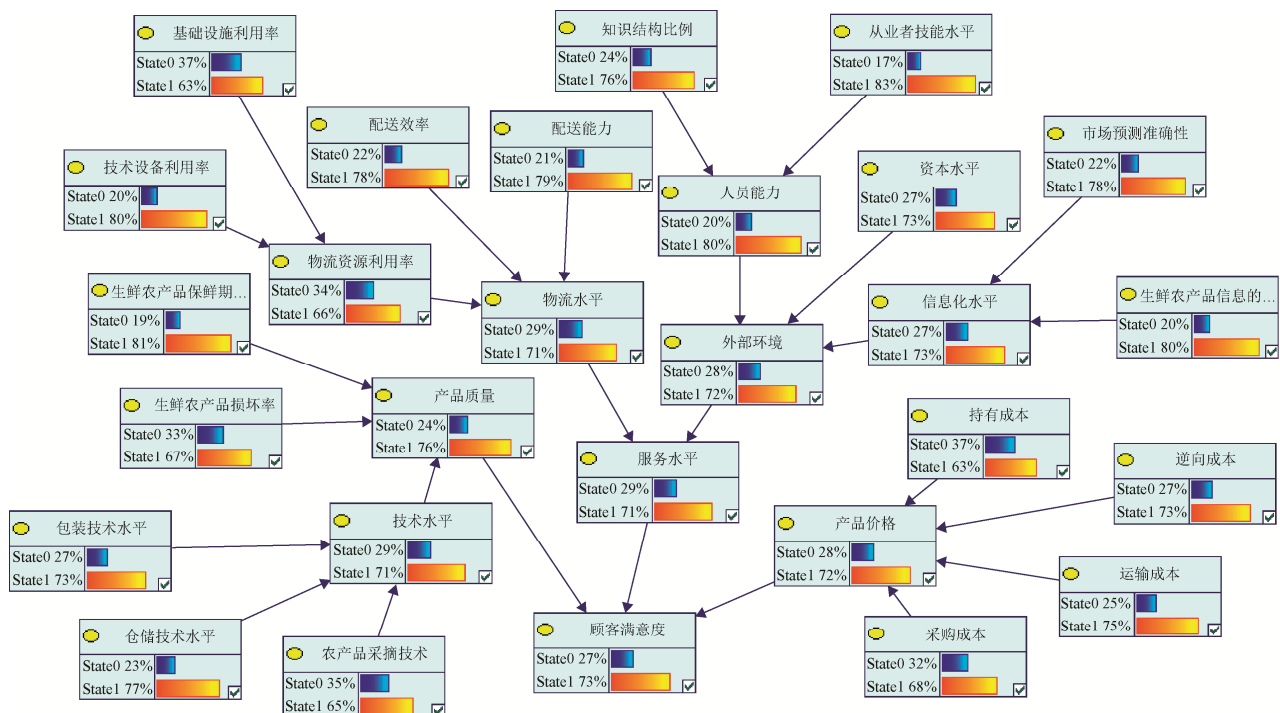


图 3 O2O 模式下生鲜农产品供应链模型

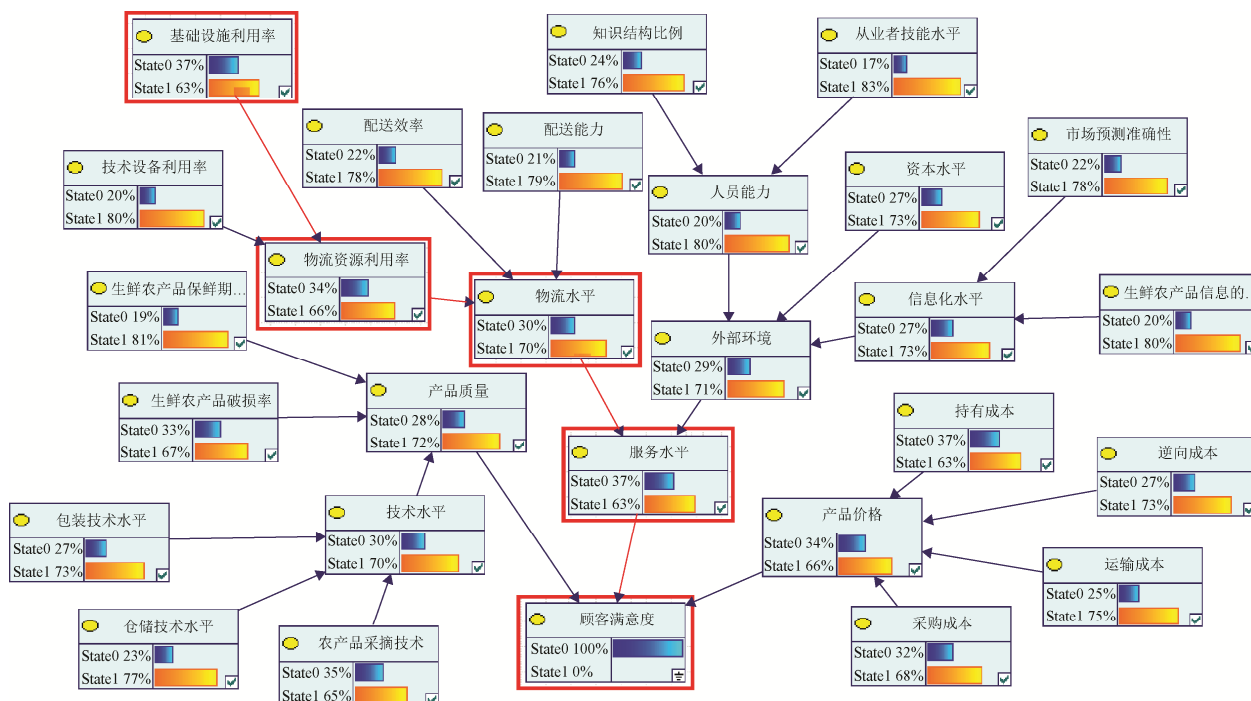


图 4 O2O 模式下生鲜农产品供应链失效风险发生后验概率

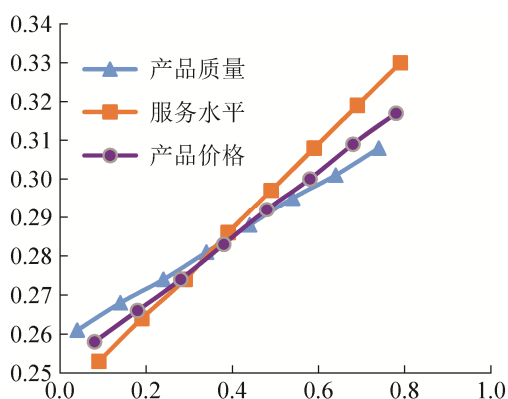


图 5 顾客满意度影响因素的敏感性分析

由图 5 顾客满意度影响因素的敏感性分析可知，当分别改变产品质量、服务水平与产品价格的概率值，产品质量、服务水平与产品价格对顾客满意度的影响程度也随之相应变化。曲线越陡峭，说明该因素的变化幅度较大，则表明该节点的敏感性越强，即为 O2O 模式下生鲜农产品供应链失效风险识别模型中最具有影响的因素。敏感性由强至弱依次为服务水平、产品价格、产品质量。

对服务水平而言，主要受到物流水平与外部环境因素的影响，对物流水平影响因素作进一步的敏感性分析，其结果如图 6 所示。物流水平受制于物

流资源利用率、配送效率与配送能力，其中敏感性最强的影响因素为配送能力，其次分别为物流资源达到一定限度时，配送效率的变化幅度较低，此时大多数 O2O 生鲜农产品电商企业通过自营物流或者物流外包的方式进行配送，因此生鲜农产品电商企业间的配送效率不存在着较大的差异，生鲜农产品电商企业应从基础设施与技术设备等硬件方面来提升其核心竞争能力。

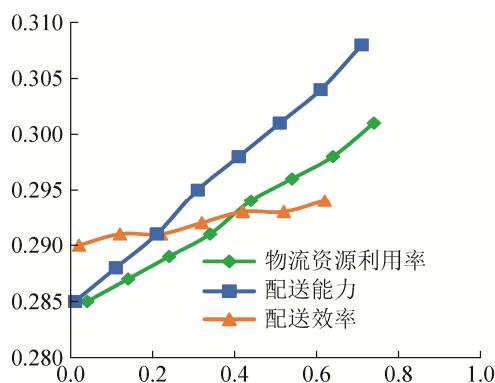


图 6 物流水平影响因素的敏感性分析

为防止 O2O 模式下生鲜农产品供应链失效风险的发生，电商企业应从外部环境与物流水平等方面来提升其服务水平，加强基础设施与技术设备的

配套投资与完善, 提升物流资源的利用效率, 对生产、储藏与运输等环节进行技术升级, 提高顾客满意度。

## 6 结论

通过对 O2O 模式下生鲜农产品供应链失效风险识别模型的影响因素进行分析, 并依据贝叶斯网络的逆向推理, 发现服务水平、产品质量、产品价格等因素为关键影响因素。对生鲜农产品电商而言, 应从物流水平与外部环境方面提高服务水平, 提高物流基础设施的利用效率, 完善配送服务流程, 提升配送效率, 降低库存与冷链运输成本; 其次应重视产品质量与产品价格等方面的把控。

### 参考文献:

- [1] 马志明, 董丽欣, 耿生玲. 基于多层 Bayes 估计的战略协同网络供应链可靠性的参数估计 [J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(4): 119-123.
- [2] Philip Beske, Stefan Seuring. Putting sustainability into supply chain management [J]. Supply chain management: An International Journal (S1359-8546), 2014, 19(3): 322-331.
- [3] Philip Leat, Cesar Revoredo-Giha. Risk and resilience in agri-food supply chains: the case of the ASDA Pork Link supply chain in Scotland [J]. Supply chain management: An International Journal (S1359-8546), 2013, 18(2): 219-231.
- [4] Sanjay Sharma, Sushanth Satheesh Pai. Analysis of operating effectiveness of a cold chain model using Bayesian networks [J]. Business Process Management Journal (S1463-7154), 2015, 21(4):722-742.
- [5] Vincent J L Gan, Jack C P Cheng. Formulation and analysis of dynamic supply chain of backfill in construction waste management using agent-based modeling [J]. Advanced Engineering Informatics (S1474-0346), 2015, 29(4): 878-888.
- [6] Martin Tidy, Xiaojun Wang, Mark Hall. The role of supplier Relationship Management in reducing Greenhouse Gas emissions from food supply chains: supplier engagement in the UK supermarket sector [J]. Journal of Cleaner Production (S0959-6526), 2016, 112(4): 3294-3305.
- [7] Fazleena Badurdeen, Mohannad Shuaib, Ken Wijekoon. Quantitative modeling and analysis of supply chain risks using Bayesian theory [J]. Journal of Manufacturing Technology Management (S1741-038X), 2004, 25(5): 631-654.
- [8] 李守泽, 余建军, 孙树栋. 供应链失效风险识别与评估 [J]. 计算机应用研究, 2010, 27(12): 4568-4570.
- [9] 李恩平, 葛兰, 董国辉, 等. 基于贝叶斯网络的供应链可靠性诊断分析 [J]. 物流技术, 2010, 29(17): 96-99.
- [10] 胡伟, 程幼明. DEMATEL 的改进及其在供应链失效分析中的应用 [J]. 统计与决策. 2013(6): 83-86.
- [11] 张浩, 杨浩雄, 郭金龙. 供应链网络可靠性的多层 Bayes 估计模型 [J]. 系统科学与数学, 2012, 32(1): 45-52.
- [12] 陆宁云, 何克磊, 姜斌, 等. 一种基于贝叶斯网络的故障预测方法 [J]. 东南大学学报. 2012, 42 (增 1): 87-91.
- [13] 周国华, 彭波. 基于贝叶斯网络的建设项目质量管理风险因素分析——以京沪高速铁路建设项目为例 [J]. 中国软科学. 2009 (9): 99-106.
- [14] 易观智库. 中国生活服务 O2O 市场专题研究报告 2015. [DB/OL]. (2015-06-23) [2016-01-20]. <http://www.analysis.cn/report/detail/9811.html>. 2015.09
- [15] 毕玉平. 中国生鲜农产品物流供应链模式研究——以山东生鲜农产品为例 [M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2014: 130-152.
- [16] 汪涛, 廖彬超, 马昕, 等. 基于贝叶斯网络的施工安全风险概率评估方法 [J]. 土木工程学报, 2010, 43(18): 51-61.
- [17] 范厚明, 温文华, 张恩营, 等. 基于贝叶斯网络的船舶靠港装卸作业溢油风险评价 [J]. 数学的实践与认识. 2015, 45(增 1): 51-61.
- [18] 马德仲, 周真, 于晓洋, 等. 基于模糊概率的多状态贝叶斯网络可靠性分析 [J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(12): 2607-2611.