

物联网环境下的农产品供应链风险评估与控制

颜 波, 石 平, 丁德龙

(华南理工大学经济与贸易学院, 广东 广州 510006)

摘要: 随着物联网技术的快速发展, 物联网环境下的农产品供应链模式日趋成熟。我国农产品供应链正处在由传统农产品供应链向现代农产品供应链转型的关键时期。新技术手段的应用、新的供应链运作模式, 在提升农产品供应链的价值和降低传统供应链风险的同时, 也带来了新的风险。首先, 根据物联网环境下的农产品供应链运作模式, 按照物联网的三个层次对整个农产品供应链上的风险加以识别, 总结出来物联网环境下的农产品供应链风险因素包括感知层风险、网络层风险、应用层风险以及其他风险。然后, 使用 OWA 算子对风险因素进行定量评估与排序, 接着依据风险评估的结果使用供应链风险扩散收敛模型找出衡量供应链风险波动的定量指标。最后, 根据前面模型的计算结果, 提出了物联网环境下的农产品供应链风险管理与控制的措施和建议。

关键词: 物联网; 农产品供应链; 供应链风险管理; 风险评估; 风险控制

中图分类号: F274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-6062(2014)03-0196-08

0 引言

随着物联网技术的不断完善与创新, 物联网环境下的农产品供应链日趋成熟, 传统供应链模式的风险得到有效的控制与规避。但是, 新技术手段的应用、新的供应链运作模式, 在提升农产品供应链价值的同时, 也带来了新的风险。作为一种新生事物, 农产品物联网在起初阶段必然还存在一些不成熟、不完善的地方。另外, 在物联网发展过程中, 新技术相继出现, 在投资回报率方面尚没有充分的统计数据资料。因此, 开展物联网环境下的农产品供应链风险管理方面的研究, 具有重要的理论意义和现实意义。

当前经济形势下, 供应链断裂事故时有发生, 引起了国内外学者的广泛关注。Snell 指出由于供应链各节点企业的合作伙伴关系重要性日益加强, 供应链风险管理显得尤为重要^[1]。Barnes 研究了在连续的供应链中二级供应商所面临的风险问题^[2]。Narasimhan 则研究了从已存在的且较稳定的市场中进行农产品采购时所产生的风险, 并提出了如何管理以及规避风险^[3]。Bechini 等人在系统建模的基础上, 提出了食品安全追溯的信息共享模型, 实现信息共享, 进而实现产品的实时追踪、食品追溯以及产品质量的控制等^[4]。Dupuy 根据企业的需求, 建立相应的数学模型, 对企业原有的追溯系统进行优化调整, 在需要召回存在质量安全问题的产品时实现精确召回, 减少不必要的由于召回所带来的利益损失, 降低企业风险成本^[5]。

农产品市场在持续不断地变化着以及由于农产品自身的特性使得农产品供应链的风险持续增高。根据这些现象,

国外一些专家学者也特别关注农产品供应链风险管理方面的研究。Carr 研究了组成农产品供应链供需风险的条件, 阐述了现有的农产品供应链风险管理在技术手段、管理过程以及管理工具上尚存在欠缺, 并在此基础上提出了等级风险统计结构的风险描述方法^[6]。Hardaker 针对农产品的季节性、多样性、复杂性等特点进行分析, 指出了农产品的质量安全风险始终贯穿于“田间—餐桌”供应链的每个节点以及全过程, 根本原因在于农产品供应链自身的高风险性^[7]。Jack 阐述了通过实地考察了解到的生鲜农产品在供应链各环节中受到污染的状况, 并且指出相关政府部门应该在供应链追溯中给予支持并发挥指导作用^[8]。

综上所述, 供应链风险管理的重要性已经越来越明显, 相关企业也开始注意到供应链风险对企业所造成的致命影响, 并积极采取相应措施。专家以及学者也采用各种各样的方法, 从不同的角度来研究供应链风险, 从而采取进一步措施对供应链风险进行转移以及规避。

虽然目前国外学者在农产品供应链风险方面已经开展了很多的研究, 但是针对我国农产品供应链风险的研究却相对较少, 尤其是物联网这一特殊环境下的农产品供应链风险方面的研究更是少之又少。将物联网技术应用到我国农产品产业, 在起初阶段, 需要企业进行产业链、商业模式的调整。另外, 由于物联网是一个整体的网络平台, 单纯的一个或者几个企业对一些新技术的应用, 并不能形成一个大范围的网络, 这样往往会导致整条供应链复杂混乱、运作成本高、效率低等问题的出现。我国农产品物联网发展较晚, 对于物

收稿日期: 2012-07-04 修回日期: 2012-11-11

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金资助项目(11YJA630173); 教育部人文社会科学研究青年基金资助项目(10YJC790116); 华南理工大学中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(x2jmd2117920); 粤港关键领域重点突破资助项目(佛山专项)(2011BZ100174)

作者简介: 颜波(1970—), 男, 湖南怀化人, 博士后, 教授, 博士生导师, 主要从事供应链管理以及农产品物联网方面的研究。

联网这一特殊环境下的农产品供应链风险的研究还处于起步阶段,对供应链风险也没有较为系统的归类,各风险因素对整条供应链影响的大小也没有较为具体的定量分析,该方面的研究尚处于空白状态。

本文创新之处在于,在风险归类时按照物联网的三个层次把整条农产品供应链上的风险加以归类,更直接地体现了物联网这一特殊情境。在对供应链进行风险评估时,应用 OWA 算子方法进行计算,得出各个风险值的大小并加以排序。在风险控制方面,为便于管理者应用,使模型更好地应用在物联网这一特殊情境下,本文给出定量分析的指标值,还对供应链风险的管控能力系数 K 重新加以赋值,并根据模型计算结果结合企业实践提出一些具体的风险管控措施建议。

1 物联网环境下的农产品供应链分析

农产品供应链是指农产品在生产、流通、加工过程中沿着由生产资料供应商、农产品生产商、中间商以及最终消费者等所组成的链式网络体系。由于农产品种类多,具有季节性、地域性、鲜活易腐和储存期短等特点,导致了农产品供应链复杂多变,具有很多不同于工业供应链的特点。

整个农产品物联网可以划分为三个基本层次:感知层、网络层和应用层。物联网环境下的农产品供应链是在传统农产品供应链的基础之上,融合物联网的技术特点,实现农产品的安全生产、实时监控、市场参与者之间的信息共享等,物联网环境下的农产品供应链如图 1 所示。

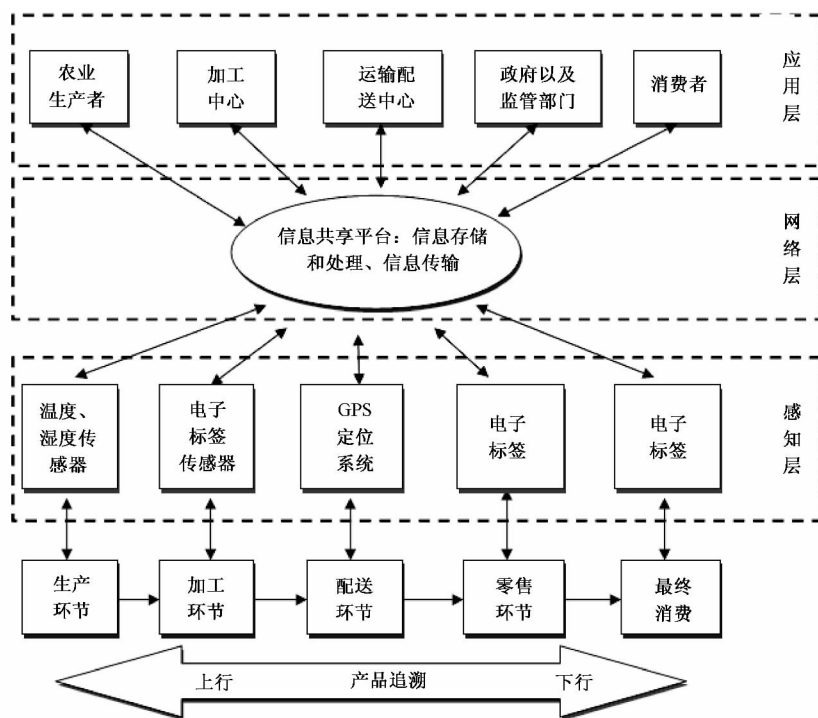


图 1 物联网环境下的农产品供应链

根据物联网的组成以及农产品供应链的基本要素,提出物联网环境下的农产品供应链模式。将农产品供应链按照物联网的三个层次依次划分,整条链简化为:生产环节+加工环节+配送环节+零售环节+最终消费。生产环节中用到温度、湿度传感器等实时监测农作物的生长状况;在加工环节中,生产商给相应的加工产品配上 RFID 电子标签,便于读取商品信息;在配送环节中,为保证货物安全,给每辆车配备 GPS 卫星定位系统,便于客户实时查询货物的具体位置等信息;在零售环节,消费者根据产品包装上的条码,查询产品的生产日期、生产地点、保质期等相关信息。在网络层,传感器会将相关信息处理并传送到互联网上,实现信息共享,这些信息可能包括产品的产地、生长状况、市场价格、车辆位置以及各个节点参与者等信息。在应用层,农业生产者可以根据市场需求趋势调整下一季度生产农作物的种类与规模,采购商可以综合衡量农产品提供者的农产品质量以及上一年的收益,对下一阶段的生产计划作出调整,政府以及其他市

场监管部门可以根据市场运营状况制定出相应的政策对市场进行调控。消费者也可以对自己所购买的农产品的质量安全提出质疑,相关监管部门可以根据追溯系统找出问题环节,按责追究。

2 物联网环境下的农产品供应链风险识别

物联网技术的引进,在很大程度上规避了传统农产品供应链的风险。比如在农产品生产环节,各种检测设备的使用,极大地解决了农产品在生长过程中由于监管不到位,温度、湿度等因素的变化,造成减产的问题;在农产品流通市场,消费者也可以读取电子标签的相关信息,了解产品的生产日期、产地以及保质期等相关信息,从而买得放心。当产品出现质量问题时也可以使用追溯系统找出问题出现的关键点,从而能够及时解决问题并能明确划分责任归属。但是,在使用新技术带来方便的同时也不可避免地出现新的问题。比如在网络层,信息共享的同时也可能会带来信息泄

露、信息丢失等风险。本文总结出来物联网环境下农产品供应链中对应于物联网各层级的风险指标体系如图 2 所示。

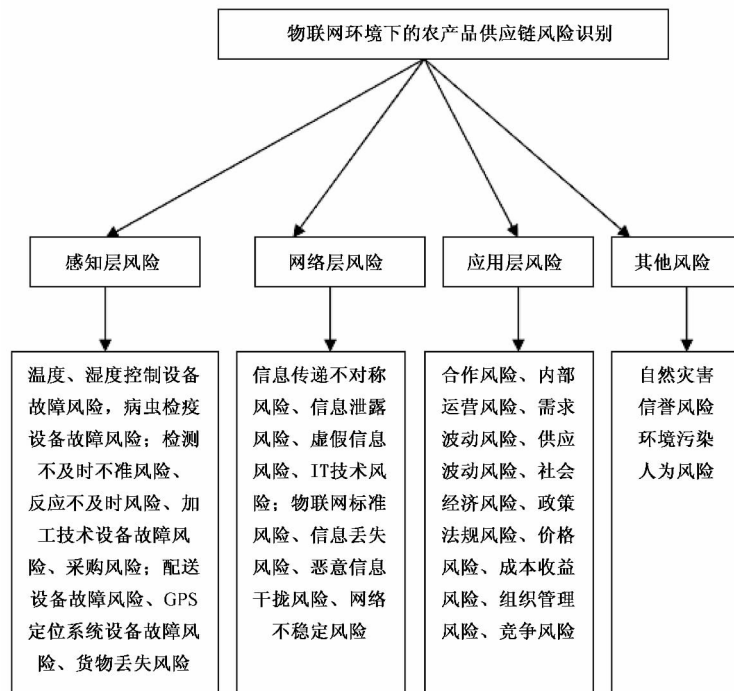


图 2 物联网环境下的农产品供应链风险识别

(1) 感知层风险

感知层使用感应器对物体性状及变化进行动态的感知，并通过无线射频等技术对感知状况进行采集。因此，在感知层相关的检测传感设备失灵或者故障将直接导致风险的产生。按照物联网下农产品供应链的一般运作流程，在生产阶段可能面临的风险有：温度、湿度控制设备故障风险、病虫检测设备故障风险检测不及时不准确风险，反应不及时风险。在加工环节，可能面临的风险有：品质检验设备故障风险、加工技术设备故障风险以及采购风险。在配送环节，可能面临的风险有：配送故障风险、GPS 定位系统故障风险、货物丢失风险。

(2) 网络层风险

网络层通过互联网技术将所感知到的数据经微处理器处理后进行远距离传输。在这一层次上，会将感知层所获取的信息经过处理后传递到互联网，通过互联网平台实现信息共享。但是由于相关技术还不成熟而且缺乏统一的标准，导致在这一层次上还存在着诸多问题。网络层面临的风险有：信息传递不对称风险、信息泄露风险、虚假信息风险、IT 技术风险、物联网标准风险、信息丢失风险、恶意信息干扰风险、网络不稳定风险。这些风险将会直接导致信息在感知层向应用层传递时，应用层的信息接收者对信息的误读误判，从而使得农业生产者做出错误的生产计划，生产商对于市场供需状况分析不明确，导致产能不足或者产品积压的后果，政府监管部门也可能实行错误的宏观调控措施，使市场形势趋于恶化。

(3) 应用层风险

应用层实现对物体感知结果的可视化，并实现对感知物

体及条件的控制。在这一层次上，分析对象主要是农产品生产者、产品加工商、配送中心、政府监管部门以及消费者。参与者会根据上一层接收到的信息对以后的生产、加工、配送、政策措施进行一定的调整，以实现利润最大化。在这一层次中面临的风险主要有：合作风险、内部运营风险、需求波动风险、供应波动风险、社会经济风险、政策法规风险、价格风险、成本收益风险、组织管理风险、竞争风险。这一层次中的风险不再是各参与者单独承受的风险，而是由多个参与者共同联系在一起产生和承担的。

(4) 其他风险

物联网环境下的农产品供应链除了在以上三个层次中所面临的风险外，还会面临由于自然灾害等不可抗力所产生的风险，企业面临的信誉风险、环境污染以及供应链参与者由于道德或法律意识缺失而带来的人为风险等。

3 基于 OWA 算子的物联网环境下的农产品供应链风险评估

由于农产品供应链风险自身的复杂性与多样性，使其对风险评估方法的要求也较高。另外，物联网环境下的农产品供应链，也会因为新技术的引进而带来新的风险。因此，选定的风险评估方法要能对一些未知的、影响波动较大且造成较大损失的风险能够给出较为准确的评估。而且，并不是所有的风险都会造成供应链崩溃，对供应链管理者来说，要明确在何种条件下需要对供应链进行调整与优化，才能在尽量降低供应链维护成本的同时提高整条供应链的价值。根据以上两点，本文在供应链风险评估阶段使用基于 OWA 算子的供应链风险评估模型，并结合下一节给出的供应链风险扩

散收敛模型,为供应链管理确定出良好的风险控制时机,确保供应链在风险可控的范围内稳定运行,从而达到整个供应链的价值最大化。

3.1 OWA 算子介绍

OWA 算子的总体思路为: 设函数 $OWA: A_m \rightarrow A(a_1, a_2, \dots, a_m)$ 是一组给定的数据, 其中 $a_i = (a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{ni})^T$, $W = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_m)^T$ 是与函数 OWA 相关联的权重向量, 管理者可以根据实际情况和经验设定 c_{ij} 为 (a_1, a_2, \dots, a_m) 中第 j 列中最小的元素分别与该列中每个元素的比值再根据相应的属性值进行加权处理的结果。该算子的特点是: 可以对数据 (a_1, a_2, \dots, a_m) 按照所需要的属性值类型进行处理, 比如成本属性, 得到 C_{ij} 之后进行加权集结, 得出的结果再按照从大到小的顺序进行排序^[9]。该模型适用于风险指标波动较大且危害影响较大的风险评估, 适合用来对风险因素较多且风险波动性较大的物联网环境下的农产品供应链进行风险评估。

3.2 OWA 算子具体的计算步骤

假设一条农产品供应链面临 n 种风险, 设 $X = (x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n)$, $i = 1, 2, \dots, n$, 每个风险由 m 个指标集表述。对于风险 x_i 按属性进行测度, 根据实际情况得到 x_i 的属性值 a_{ij} , 从而构成决策矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times m}$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

按照不同的属性值类型有多种不同的计算方式, 由于供应链是一条价值链, 用成本属性值最能反应各风险因素对整条供应链的影响。因此, 在这里用成本属性来衡量风险值, 并采用 (2) 式对各风险因素进行定量评估。

$$C_{ij} = \frac{\min_i a_{ij}}{a_{ij}}, i \in N \text{ 或 } C_{ij} = \frac{\max_i a_{ij} - a_{ij}}{(\max_i a_{ij} - \min_i a_{ij})}, i \in N \quad (2)$$

A 经过 (2) 式规范化整理后得到 C :

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

利用 OWA 算子对各风险因素 $x_i (i \in N)$ 进行集结, 从而得到其综合属性值 $Z_i(w)$:

$$Z_i(w) = OWA_w(c_{i1}, c_{i2}, \dots, c_{im}) = \sum_{j=1}^m w_j c_{ij} \quad (4)$$

接下来, 就可以根据上面求出的风险值大小来进行排序, 确定各风险因素对整条供应链的影响。

3.3 基于 OWA 算子的物联网环境下农产品供应链风险评估数值算例

第 2 节已经对物联网环境下的农产品供应链进行了风险识别与分类, 在对风险进行定量评估之前, 还要解决两个问题: 一是供应链上各风险的权重赋值, 二是确定每种特定

风险将会造成的损失值。为计算方便, 本文只选取每个层次同种类型的一种风险, 并按照相关的调查报告对各权重加以赋值和评定相应的损失^[10]。权重值依据管理者的经验予以赋值, 损失值按照损失大小按每 5 个单位为间隔, 标记为 (0—100), 具体数据如表 1 所示。

表 1 物联网环境下的农产品供应链风险评估算例

编号	风险类型	风险事件	损失值	发生概率
1	感知层	检测设备故障风险	30	10%
2		配送风险	25	20%
3		误差风险	10	40%
4		反应不及时风险	15	15%
5	网络层	信息安全风险	15	10%
6		IT 技术风险	30	30%
7		网络不稳定风险	40	45%
8	应用层	内部运营风险	30	15%
9		外部合作风险	40	20%
10		需求波动风险	75	10%
11		供应波动风险	75	10%
12		成本收益风险	40	20%
13		政策法规风险	90	10%
14		竞争风险	50	30%
15	其他风险	信誉风险	30	10%
16		自然灾害风险	90	5%

首先, 根据表格中的数据, 将风险损失值以及风险发生的概率转化为矩阵 A , 再根据 (2) 式将 A 转化为 C , 计算过程如下:

$$A = \begin{bmatrix} 30 & 10\% \\ 25 & 20\% \\ 10 & 40\% \\ 15 & 15\% \\ 15 & 10\% \\ 30 & 30\% \\ 40 & 45\% \\ 30 & 15\% \\ 40 & 20\% \\ 75 & 10\% \\ 75 & 10\% \\ 40 & 20\% \\ 90 & 10\% \\ 50 & 30\% \\ 30 & 10\% \\ 90 & 5\% \end{bmatrix} \rightarrow C = \begin{bmatrix} 0.33 & 0.5 \\ 0.4 & 0.25 \\ 1 & 0.13 \\ 0.67 & 0.33 \\ 0.67 & 0.5 \\ 0.33 & 0.17 \\ 0.25 & 0.11 \\ 0.33 & 0.33 \\ 0.25 & 0.25 \\ 0.13 & 0.5 \\ 0.13 & 0.5 \\ 0.25 & 0.25 \\ 0.11 & 0.5 \\ 0.2 & 0.17 \\ 0.33 & 0.5 \\ 0.11 & 1 \end{bmatrix}$$

然后, 利用 OWA 算子对各风险 $x_i (i = 1, 2, \dots, 16)$ 进行风险集结, 由此求出风险的综合属性值 $Z_i(w)$ 。根据相关学者以往的研究经验, 设定权重向量 $w = (0.7, 0.3)^T$, 由 (4) 式可以得到集结值 $Z_i(w)$ 分别为: 0.38、0.36、0.74、0.57、

0.62、0.28、0.21、0.33、0.25、0.24、0.24、0.25、0.23、0.19、0.38、0.38。

根据上面的数值计算结果,按照从大到小的顺序排列可得:

$$x_3 > x_5 > x_4 > x_1 > x_{15} > x_{16} > x_2 > x_8 > x_6 > x_9 \\ > x_{12} > x_{10} > x_{11} > x_{13} > x_7 > x_{14}$$

可以看出,物联网环境下的农产品供应链面临的主要风险是信息安全风险、信誉风险以及配送风险。由此可以得出,在物联网这一特殊情境下农产品供应链风险主要来自于物联网技术引进所带来的各类风险,传统农产品供应链风险如内部运营、外部合作风险在很大程度上得到了一定的规避,在新的风险产生的同时,旧的风险也发生了转移。根据上面的计算结果得到的风险排序,在解决供应链风险问题时便可以做到有据可依,专注于解决主要的矛盾,这样既能够更加快速有效地解决供应链风险问题,也能使已有的农产品供应链进一步优化,提高整条供应链的价值。

4 物联网环境下的农产品供应链风险控制

供应链风险控制的目的是为了在识别出供应链风险并对供应链风险做出评估的基础上对现有供应链进行一定的整合,给出系统的、科学的供应链风险控制与规避方法,从实际操作角度对供应链进行整体优化,从而提高整条供应链的价值。艾耕云和陈俊芳的研究表明,供应链的风险波动会按照两个方向发展:一是在一定的波动范围内,供应链会处于一个相对平稳的状态,一定的风险水平并不能导致供应链系统出现严重问题;二是在供应链风险水平超过正常波动范围的情况下,会导致整条供应链崩溃^[11]。因此,如果能找出一个定量衡量供应链风险波动的指标,就能做出合理的调整计划,避免由于过多的调整所造成的成本风险,也可以对整条供应链的运作状况做出很好的评价,为供应链的管理者和参与者提供准确的预警信息。

4.1 物联网环境下的农产品供应链风险扩散收敛模型

农产品供应链具有供应链本身的复杂性与动态性的特点,在管理供应链风险时用到的数据和模型也应该满足动态的特点。考虑到动态环境对供应链风险的扰动作用,构建如下供应链风险密度函数^[11]:

$$\frac{\partial \varphi(x)}{\partial x} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} [D(x) \varphi(x)] - 3 \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{D(x)}{x} \varphi(x) \right] - \frac{\partial}{\partial x} [M(x) \varphi(x)] \quad (5)$$

其中, $M(x) = rx(1-kx) = \bar{r}x(1-kx)$ 是衡量供应链风险水平 $x(t)$ 的平均趋势; k 为供应链风险管控能力系数; r 为供应链风险扩散收敛系数。由于该模型只根据最终化简的结果进行分析, r 的具体取值并不会影响到分析结果,因此本文将视为常量值。 $D(x) = \sigma^2 x^2 (1-kx)^2$ 是 $x(t)$ 对其平均值的均方差, $\varphi(x)$ 为供应链风险水平的密度函数, \bar{r} 为供应链风险扩散收敛系数 r 的均值, σ^2 为 r 的方差。为了找出一个衡量指标便于供应链管理者衡量整个供应链的运行水平,本文选择

供应链的风险管控能力系数 k 作为最终的衡量指标。式(5)给出了本文的供应链风险控制模型,本模型中含有较多的参数与变量,为了使该模型能更好、更方便地达到衡量供应链风险的目的,接下来对模型进一步化简。在对模型进一步化简时,尽量简化公式,去掉一些对结果影响较小或者无影响的参数。由于此模型不考虑时间的扰动作用,那么密度函数对时间的求导应该等于零,即 $d\varphi/dt = 0$,对式(5)可进一步推导出:

$$\frac{1}{2} \frac{d^2}{dx^2} [D(x) \varphi(x)] = 3 \frac{d}{dx} \left[\frac{D(x)}{x} \varphi(x) \right] + \frac{d}{dx} [M(x) \varphi(x)] \quad (6)$$

其中,密度函数 $\varphi(x)$ 满足如下条件:

$$\int_0^\infty \varphi(x) dx = 1, \varphi(x) \geq 0, \quad (7)$$

将式(6)进一步变形可以得到:

$$\varphi(x) = \frac{Cx^{2(v+2)}}{\sigma_r^2 (1-kx)^{2(v+1)}}, v = \frac{\bar{r}}{\sigma_r^2} \sqrt{k} \quad (8)$$

其中 C 为常数,由公式(8)可以得出以下推论:

- (1) 当 $x \rightarrow 0$ 时 $\varphi(x) \rightarrow 0$;
- (2) 当 $x = 1/k$ 时 $\varphi(x) \rightarrow \infty$;
- (3) 当 $x \rightarrow \infty$ 时 $\varphi(x) \rightarrow \infty$;

对式(8)供应链风险密度函数进一步求导可得:

$$x_L = \frac{v+2}{k} = \frac{\bar{r}}{\sigma_r^2 \sqrt{k}} + \frac{2}{k} \quad (9)$$

其中, x_L 是供应链两种稳态环境临界点时的最小概率点。根据上面的推导过程以及最终的推导结果,可以得出以下结论:

根据(8)式可以得出,当不考虑时间的影响,只考虑动态环境带来的风险时,农产品供应链存在两个稳态环境,此时概率密度函数的值为最大值,即 $x = 1/k$ 和 $x \rightarrow \infty$ 。由上面公式可以分析得出当 $x = 1/k$ 时,供应链处于稳态环境;当 $x \rightarrow \infty$ 时,供应链风险波动最大,趋于崩溃状态。因此 K 值直接反应供应链的稳定状态, K 值越大,就越表明供应链在较低的风险状态下稳定运行,不会面临供应链崩溃的危险。

根据(9)式可以得出,在不考虑时间因素的影响下, x_L 是供应链两种稳态环境临界点时的最小概率点,即稳定状态下与趋于崩溃状态下的临界值。当物联网下的农产品供应链风险值大于临界点时,供应链风险不受控制持续扩散,致使供应链崩溃;反之,供应链风险值小于临界点时,供应链风险得到有效控制,供应链在较低的风险状态下稳定运行,不会面临供应链崩溃的危险。

4.2 物联网环境下农产品供应链风险扩散收敛模型权重值 K 的确定

针对物联网这一特殊情境下的农产品供应链风险,本文对供应链风险管控能力系数 K 进一步定义与赋值,使上述模型能更好地应用到物联网环境下的农产品供应链风险评估控制中。本文将供应链风险管控能力系数 K 定义为任意风险因素实际发生有效解决的次数与风险发生的总次数的比值,可以表示为:

$$K = R_s / R_i \quad (10)$$

其中, R_s 表示任意风险因素实际发生有效解决的次数, R_i 表示任意风险因素实际发生的次数。根据第 3 节得出的物联网下农产品供应链风险排序, 可以得出每个风险因素对整条供应链风险的影响程度。定义物联网下的农产品供应链中每个层次的风险因素的供应链风险管控能力系数为 $K_i = R_{si} / R_{ti}$, 对每一个供应链风险因素赋予一个权重值 z_i 表示各风险因素对整条供应链风险的影响程度。 z_i 是指第 3 节中由 OWA 算子计算出的各风险因素的大小, 在实际应用中为方便计算, 可以将 z_i 值按照一定的比例进行重新赋值。

为了衡量整条供应链的风险管控能力系数, 提出以下公式:

$$K_T = \frac{(K_1 z_1 + K_2 z_2 + \cdots + K_n z_n)}{z_1 + z_2 + \cdots + z_n} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i z_i}{\sum_{i=1}^n z_i} \quad (11)$$

供应链管理者可以根据以上方法很好地衡量当前供应链的运营状况, 并利用该数值和以往同期的检测值进行对比分析。由于农产品具有很强的季节性, 对农产品供应链而言, 以往同期检测值可采用上一个生产周期的数据。如果现行阶段的风险管控能力 K 值低于以往同期的 K_T 值, 说明该供应链处于稳定运行状态; 反之, 如果现行阶段的风险管控能力 K 值远远高于以往同期的 K_T 值, 则说明整条供应链存在较高的风险, 甚至可能趋于崩溃状态, 此时需要供应链管理及时做出调整措施, 以免供应链风险持续扩大直至供应链崩溃。

根据上面模型的推导过程, 可以看出一条完整的供应链始终会按照两个方向发展: 一是在一定的风险水平下, 通过管理者的有效管控, 供应链风险能够很好地收敛, 使供应链的风险因素相互间的影响降到最低, 供应链在一定的风险水平上保持稳定运作; 二是供应链管理对于供应链风险的管理能力较低, 致使供应链的风险水平超过临界值, 供应链风险不能有效地收敛, 各风险因素之间的相互影响进一步加强, 使得供应链风险不断扩散, 最终导致供应链的崩溃。

4.3 物联网环境下的农产品供应链风险管控措施建议

在供应链风险评估阶段, 得出了物联网环境下对农产品供应链风险影响最大的几种风险因素为: 信息安全风险、信誉风险以及配送风险。其中, 信息安全风险还包含信息不对称风险、虚假信息风险、信息泄露风险, 几种风险的相互作用, 致使信息安全风险占了较大比重。信息安全风险的存在, 导致市场参与者不能有效地识别虚假信息, 这样在外部合作的过程中就可能会因为信息不准确等原因造成合作者信誉降低的风险。配送风险来自于两个方面, 一是国内现有的物流基础设施不完备, 从而导致物流行业自身的风险性较高; 二是各个节点企业相应的物流服务提供商, 不具备相应的资格或者物流设施设备不能满足现代农产品物流的要求。在这里, 根据前面模型的计算结果, 提出了以下几个方面的物联网环境下农产品供应链风险管理与控制的具体措施:

(1) 加强信息监管力度, 规范信息流通的渠道, 加强对流通信息的审核、审查力度显得尤为重要。其中, 要尤其加强对信息发布人资质的审核, 在信息源头上降低信息安全风险。实名制已经开始在各个行业和领域得到应用, 如电话号码、火车票等。在物联网环境下的农产品供应链中信息发布时也可以考虑采取实名制跟踪信息源, 在信息安全事故发生时, 实名制方式能够很快速地找出信息风险的源头, 从而能够降低信息风险发生的概率。

(2) 提高自身信誉度, 加强市场辨别能力。农产品供应链各节点企业应增强自身的技术水平, 以满足物联网环境下农产品供应链的需求。加强对上游企业和下游企业的辨别能力, 准确选择可信赖的合作商。例如, 供应商选择与评估就是一个对信誉风险进行控制的方法, 企业通过设定多个信誉指标对不同的供应商进行评估, 从中选择可信赖的供应商保持长期的业务往来与合作。

(3) 加快农产品供应链基础设施建设。针对农产品供应链的特点, 加大农产品供应链基础设施建设的投资力度, 建立快速响应的物流系统, 完善信息平台, 提高基础设施的运作效率。农产品具有易腐易变质的特点, 例如, 作为农产品生产基地的东北地区, 有必要在当地建立专门的农产品配送网络, 整合小而散的农产品集散中心, 提高农产品的包装、运输和储存等技术水平, 有效缩短中间环节的滞留时间, 减少农产品在物流过程中的损失。

5 总结与展望

本文讨论了物联网环境下农产品供应链的风险问题, 通过定性分析, 对现行农产品供应链的风险加以分类总结; 再通过建立数学模型, 从定量的角度衡量各风险因素的大小; 最后, 根据前面模型的计算结果, 提出了物联网环境下农产品供应链风险管控措施。

农产品物联网在我国才刚刚起步, 还不是很成熟。加强信息共享、保证信息安全、加快基础设施建设、提高政府的参与度、加大监管力度等各项措施都能在很大程度上规避物联网环境下的农产品供应链风险^[12~15]。作为供应链管理, 要定期对农产品供应链上各风险因素进行定量评估, 准确判断农产品供应链的运行状况, 及时调整供应链管理策略, 加强对物联网设备的监控力度, 逐步提高供应链风险管控能力。管理者根据评定结果为供应链的参与者提出改善建议, 使整条供应链处于低风险值的运行状态。当监控指标明显出现较大波动或者高于以往同期水平时, 管理者应及时跟踪波动数据, 根据当前环境给出较合理的解释, 降低风险发生的可能性, 提高风险发生后的紧急处理能力。要使整个农产品供应链处于稳定运行状态, 需要供应链管理部门的正确引导以及各个参与者的共同配合。随着物联网技术的不断成熟, 相关标准、行业规范的不完善, 未来我国农产品物联网将会快速发展, 从而逐步实现我国农产品供应链现代化的目标。

参 考 文 献

- [1] Snell P. Beware of the risks and snap up the opportunities in 2010 [EB/OL]. IFPS Magazine Highlights ,11 January 2010. <http://www.ifpsm-ezine.org/>.
- [2] Li XH , Barnes I. Proactive supply risk management methods for building a robust supplier selection process when sourcing from emerging markets [J]. Strategic Outsourcing: An International Journal ,2008 ,1(3) : 252 ~ 267.
- [3] Narasimhan R , Talluri S. Perspectives on risk management in supply chains[J]. Journal of Operations Management ,2009 ,27 (2) : 114 ~ 118.
- [4] Bechini A , Cimino MGCA , Lazzerini B , et al. A General Framework for Food Traceability[J]. Application and the Internet workshops ,2005(1) : 366 ~ 369.
- [5] Dupuy C , Botta-Genoulaz V , Guinet A. Batch dispersion model to optimize traceability in food industry [J]. Journal of Food Engineering ,2005 ,70(3) : 333 ~ 338.
- [6] Tah J , Carr V. Effectively Managing Vertical Supply Relationships: A Risk Management Model For Outsourcing [J]. Supply Chain Management: An International Journal ,2001 ,4 (4) : 176 ~ 183.
- [7] Larson PD. Designing and Managing the Supply Chain: Concepts , Strategies , and Case Studies [J]. Journal of Business Logistics ,2001 ,22(01) : 259 ~ 261.
- [8] Jack GAJ , Vander V. Product traceability in food supply chains [J]. Accreditation and Quality Assurance ,2006 ,11(2) : 33 ~ 37.
- [9] 王文婕. 基于 OWA 算子的供应链风险评估方法[J]. 物流技术 ,2011 ,30(4) : 110 ~ 113.
- [10] 李丹宇. 水产品供应链安全风险管理体系研究[D]. 华南理工大学 ,2011.
- [11] 艾耕云,陈俊芳. 供应链风险扩散收敛模型与风险管理机制 [J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版) ,2009 ,31 (3) : 487 ~ 490.
- [12] 张东玲,高齐圣,杨泽慧. 农产品质量安全风险评估与预警模型: 以山东省蔬菜出口示范基地为例[J]. 系统工程理论与实践 ,2010 ,30(6) : 1125 ~ 1131.
- [13] 张煜,汪寿阳. 不对称信息下供应商安全状态监控策略分析 [J]. 管理科学学报 ,2011 ,14(5) : 11 ~ 18 #2.
- [14] 肖勇波,陈 剑,徐小林. 到岸价格商务模式下涉及远距离运输的生鲜产品供应链协调[J]. 系统工程理论与实践 ,2008 ,28(2) : 19 ~ 25.
- [15] 吴军,李健,汪寿阳. 供应链风险管理中的几个重要问题 [J]. 管理科学学报 ,2006 ,9(6) : 1 ~ 12.

Risk Assessment and Control of Agricultural Supply Chain on Internet of Things

YAN Bo , SHI Ping , DING De-long

(School of Economics and Commerce , South China University of Technology , Guangzhou 510006 , China)

Abstract: With the rapid development of the Internet of Things (IoT) technology , its applications on agricultural supply chain are becoming mature. The risks of traditional agricultural supply chain have been effectively controlled and averted. Agricultural supply chains in China are currently under transformation. The usage of new techniques and new supply chain modes can not only enhance the value of agricultural supply chain and reduce the traditional supply chain risks , but also create new risks for the agricultural supply chain. Therefore , risk assessment and control of the agricultural supply chain enabled by IoT has important theoretical and practical implications. Although the current literature has examined risk management of the agricultural supply chain , very few of them studied risk management of agricultural supply chain in China and how they are related to IoT.

This paper classifies risks on the entire agricultural supply chain in accordance with three levels of IoT. Based on the principle of risk assessment , this paper summarizes the risks of IoT-enabled agricultural supply chains , including the risks of perception layer , the risks of network layer , the risks of application layer and some other risks. We used the OWA operator to quantitatively evaluate these risk factors. Risk assessment results show that the main risks facing IoT-enabled agricultural supply chain include information security , reputation , and distribution risks. Finally , we use the supply chain risk diffusion convergence model to identify quantitative indicators to measure risk fluctuations in IoT-enabled agricultural supply chain according to the results of risk assessment. According to the calculation results of the quantitative model and supply chain management practices , we propose some measures of risk management and control for IoT-enabled agricultural supply chains.

In conclusion , IoT-enabled agricultural supply chain is in its development stage in China. It is necessary for managers of the agricultural supply chain to quantitatively evaluate risk fluctuations in the agricultural supply chain. Therefore , we can accurately update the status of IoT-enabled agricultural supply chain , and adjust management strategies for the agricultural supply chain in time.

(下转第 173 页)

Firstly , a UE model and its equivalent variational inequality are formulated based on CPT , and a proof for the uniqueness of link-flow solution of the UE model is given under three constraints. These three constraints are: (1) travel demand between any of the OD pairs is fixed; (2) there is no correlation between the mean and variance of the travel time on any of the links; and (3) travelers with the same OD possess the same reference point. Secondly , the replicator dynamic is introduced to describe travelers' day-to-day route choice behaviors and integrated with CPT to establish a dynamical traffic system. According to stability analysis , it is indicated that the dynamical system can evolve to UE eventually when there are no unused routes at the initial time and its equilibrium points are interior points of the feasible route flow set. Finally , we illustrate the processes of achieving UE through a numerical experiment under different initial states and by distinct reference point updating rules.

In summary , this paper not only improves and expands traditional traffic assignment model within the frame of bounded rationality by an integration of equilibrium and evolution analysis , but also presents a reasonable explanation for the achievement of UE. The model formulated in this paper characterizes the long-term operation characteristics and regulations of the dynamical traffic system more practically and comprehensively. The model and conclusions create a theoretical basis for traffic demand forecasting , transportation planning , traffic network design , ATIS construction , and the establishment of travel demand management strategies (e. g. congestion pricing and regional traffic control) . In addition , several directions for future research are identified. Firstly , some findings of this study need to be further verified by gradually relaxing some constraints in this study. Secondly , parameter estimation of the route prospect function and analysis on reference point update regulations with field survey or experimental data are required for further investigation. Thirdly , seeking for more plausible evolutionary dynamics in conformity with travellers' actual behaviors is also a research objective. Lastly , it is still challenging to apply the model to analyzing real traffic network in consideration of travelers' decision characteristics and traffic system's operation performance.

Key words: dynamical traffic system; Cumulative Prospect Theory; the replicator dynamic; user equilibrium

中文编辑: 杜 健; 英文编辑: Charlie C. Chen

(上接第 202 页)

The managers of the agricultural supply chain should propose some improvement measures in order to reduce risks for participants of the supply chain according to the calculation results of the quantitative model. IoT-enabled supply chain management practices should be executed in order to ensure that the entire agricultural supply chain operates in a low-risk status , which requires cooperation of all participants in a supply chain.

Key words: Internet of Things; agricultural supply chain; supply chain risk management; risk assessment; risk control

中文编辑: 杜 健; 英文编辑: Charlie C. Chen