

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.08.001

冷链物联网监测数据质量评估与优化研究进展分析

胡金有¹ 王靖杰¹ 朱志强² 张小栓^{1,3}

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)农业农村部农产品贮藏保鲜重点实验室, 天津 300384; 3. 中国农业大学食品质量与安全北京实验室, 北京 100083)

摘要: 冷链监测具有多环节、技术构成复杂、数据格式多样等特点, 针对当前应用场景的适应性较差。为了加深冷链监测物联网应用中的数据意识, 本文从数据的视角剖析冷链监测物联网中数据质量问题。从数据质量产生机理、数据质量评估方法以及数据质量改善关键技术出发, 按照冷链监测物联网数据完整生命周期关键环节的顺序, 进行冷链物联网监测数据质量评估与优化综述。分析得出, 数据质量的测量与评估逐渐成为冷链物联网监测数据质量持续优化的关键, 并重点阐述了注重从数据视角解决冷链监测物联网数据产生过程与流程的数据质量问题, 指出数据质量评估技术、方法与应用场景、流程需求差异化的结合日益紧密, 冷链监测数据获取应注重物联网过程中数据特性、数据特征以及获取流程匹配性的研究方向, 同时在冷链物联网监测数据质量提升方面也应注重监测技术协同优化与性能挖掘的研究。

关键词: 冷链物流; 监测物联网; 数据生命周期; 数据质量; 优化方法

中图分类号: TP274; TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2019)08-0001-14

Analysis of Data Quality Evaluation and Optimization in IoT in Cold Chain

HU Jinyou¹ WANG Jingjie¹ ZHU Zhiqiang² ZHANG Xiaoshuan^{1,3}

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. Key Laboratory of Agro-products Storage, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products, Tianjin 300384, China

3. Beijing Laboratory of Food Quality and Safety, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Internet of Things (IoT) has become the essential technology, which supports the safety, innovation and sustainable development of cold chain monitoring services. Since the complex technical structure and diverse data formats, there are still many challenges in current application scenarios in the cold chain monitoring services based Internet of things. From the perspective of data, the data quality problem in the monitoring process in cold chain was comprehensively analyzed and examined, in order to enhance the data awareness in the cold chain monitoring applications and its services. And thus inspire the relevant scholars to solve the data quality and optimization issues in cold chain monitoring based IoT. In light of the data quality generation mechanism, data quality assessment methods and application improvement practices, the current research status and the development trends were summarized in line with the life cycle of monitoring data in cold chain. The research and analysis indicated that the measurement and evaluation of data quality became the key to the ongoing improvement of the data quality in IoT in cold chain, which emphasized that the data quality should be handled in the process of where the data generation from the perspective of data quality. It also pointed out that the combination of assessment methods, application scenarios, and requirements differentiation was increasingly tight. And the future research should enhance the process of data retrieval through integrating data characteristics of monitoring technologies and the generation process in cold chain, and cold chain monitoring data quality should enhance the collaboration and mining of monitoring technical characteristics and their performances.

Key words: cold chain; Internet of Things; data life cycle; data quality; optimization method

收稿日期: 2019-05-13 修回日期: 2019-06-10

基金项目: 农业农村部农产品贮藏保鲜重点实验室开放项目(KF2018004)、天津市青年科研人员创新研究与实验项目(2018010)和现代农业产业技术体系建设项目(CARS-29)

作者简介: 胡金有(1968—),男,副教授,博士生导师,主要从事农业信息化研究,E-mail: hujy@cau.edu.cn

通信作者: 张小栓(1978—),男,教授,博士生导师,主要从事物联网与工业工程、农业信息化研究,E-mail: zxshuan@cau.edu.cn

0 引言

冷链物联网(Internet of things in cold chain, IoCCT)是指应用识别、感知、传输、计算等技术于冷链,或对冷链运营所需设备、物品性能进行延伸,通过技术融合与集成得到有效的状态监控和稳定的过程数据,为支持决策处理与管理应用而形成的互联互通网络。冷链的全程、高效监测能够有效避免冷害、过程损失、腐败变质等储运过程中的常见问题^[1],冷链物联网已成为生鲜农产品、加工产品、生物医药^[2]冷链中保障安全、产品增值、实现高效管理的必要手段。近年来,各类物联网监测技术在不同国家冷链环境和品质监测上的应用研究持续发展,产生了适当数据^[3],不断充实冷链过程可视化管理和信息服务(追溯),满足绿色发展需求,有效服务于冷链向安全、智能和环境友好的方向转变。

大数据、人工智能、区块链等新一代信息技术^[4]的持续发展带来数据意识,面向生鲜农产品冷链监测物联网的应用研究逐渐深入,冷链监测的物联网化趋势也相应加强。其他监测物联网数据质量评估与优化研究较多,但针对冷链物联网监测数据质量的研究较少。而作为冷链物流大数据重要来源之一^[5],冷链物联网对数据与服务应用需求、技术经济性和成熟度、工程应用规范与标准逐步提高,有效的数据治理将为冷链物流中数据挖掘、可视化管理、新一代智能应用等数据应用奠定坚实基础。

目前冷链监测物联网存在缺乏统一数据规范和系统应用质量受限等问题,制约了冷链监测物联网的服务质量,数据质量评估和持续优化技术^[6]是应对和解决上述问题、适应和满足未来冷链监测管理需求的关键。基于此,本文对冷链监测物联网监测数据质量的形成、评估与优化应用进行综述,阐明数据质量评估对提高冷链物联网监测数据质量的重要性。

1 冷链物联网监测数据质量评估与优化流程

冷链物联网监测数据具有多重性质,且由于产品特性、包装实践、运输路线、运输方法和工艺效率在各地冷链之间差异较大,且每种技术监测数据特性有限且相对孤立,在功能和性能方面都受到限制,但是这些技术结合使用可以显著提高冷链管理质量^[7]。因此,以数据视角从冷链物联网监测数据来源与特性、数据质量形成机理、评估与优化流程分析3方面展开冷链监测物联网的数据质量评估与优化工作。

1.1 监测数据来源与特性分析

高效的管理得益于冷链高效监测实践,典型监测技术与实践有无线传感器网络(Wireless sensor networks, WSN)^[8]、时间温度指示器(Time-temperature indicators, TTI)^[9]、多传感智能监测^[10]、智能包装^[11-12]等监测物联网技术,这些应用和监测数据大大加强了冷链管理从而减少了过程损失,进一步研究其特性与应用是必要的,以产生适当的数据。

(1) 监测技术与数据特性分析

物联网监测技术基于不同的原理而具有差异性,且因冷链应用场景与实践应用多样化、动态性和易变性,导致可追溯性、独特识别、能源效率、异构性、可拓展性和普遍性在实现冷链监测应用的高效性能结构中是必要的^[13-14]。如表1所示,应从物联网监测数据特性中发掘监测物联网潜力。除此之外,WiFi、NB-IoT(窄带物联网)、ZigBee^[15]等通信技术,二维码、智能标签、手持设备等具备物联网特性的其他监测技术也都相应应用于冷链监测物联网中。

(2) 监测数据特性

冷链监测数据的技术因素特性表现为明显结构与数据流特征。

不确定性:由特定监测技术与环境的差异而连续产生的系统或随机误差而导致不确定性。

时空性:在仓储、物流等场景中由监测点分布与抽样布置而使其具有较强时间、空间分布属性。

离散性与间接性:在冷链环境中数据虽表现为平稳连续,但由于微环境监测存在采样周期而具有离散属性与间接性,少部分技术可以实现全程品质间接监测,如TTI。

冷链监测数据的流程因素特性表现为冷链过程衔接与多阶段特征。

多阶段与波动性:由冷链过程的多环节差异以及环境变化所导致的冷链监测过程具有较为明显变化,且由于数据流特征而具有明显的时间属性。

多源性:由多场景以及多种监测技术配合而具有数据来源及形式复杂多样且多维的数据特性。

耦合与相关性:对同一或相似流程对象描述以及监测响应机理不独立而使多个监测参数之间具有相关性、耦合性和交叉敏感性。

生命周期与过程性:针对冷链过程而具有明显的产生与消亡过程,具有较大数据规模且可以快速产生,同时,由于采集、传输、转换、处理及共享等操作而具有非线性生命周期。

此外,冷链监测物联网中数据还具有多态性和

表 1 冷链监测物联网中主要监测技术与数据特性分析

Tab. 1 Characteristics of IoT technologies in cold chain

监测技术	技术特性	影响参数	数据特性	获取方式	应用场景	适用度	文献序号
WSN/蓝牙/GPRS 等	计算机可读性强, 实时性高、具有位置信息, 与传感器配合	网络结构	异构、多源	多跳网络 + 传感器	环境感知、传输、货架期可视性	差	[6]
多源传感器/单传感器	计算机可读性强, 具有较好的耦合性和相关性、无连接性	精度、能耗等传感特性	结构数据/数字信号	采样频率固定	感知、微环境监测/简单场景, 与通信技术配合	较低	[8]
RFID/NFS/智能标签/码技术	标签识别, 采集频率可调, 配合传感器使用	距离、能耗、供电形式	标准格式	被动测量、需特殊解析设备	识别与传输、传感标签、智能包装、过程跟踪与库存管理、智能冷链集装箱	较高	[16-17]
TTL/微生物传感器	时间-温度、货架期可视, 计算机可读性差, 易损	特定机理	颜色为主	连续监测	品质感知、智能包装、实时货架期监测、智能标签	适中	[18]
BDS/GPS/GLONASS/GSNS	位置信息、海拔、运行速度	精度	标准格式	被动测量	感知、动态物流、智能冷链集装箱、长途物流	适中	[19]
光谱/视频/视觉信息	品质特征	设备选型与使用环境	光谱信息	间隔测量	感知、抽检	较低	[20]
颜色传感器/颜色指示器	芳香物质、复用性差	感应机理	颜色	被动	新鲜度监测	较低	[21-22]
电子鼻/电子舌	气体芳香物质/化学物质	感应机理与精度	模型识别、分类、定性分析	被动	实验室为主, 货架期监测	较低	[23-24]
其他手持设备/记录仪				人工采集记录	品质抽检, 适用度较低		

异质性。以上数据特征由监测物联网技术和生鲜农产品冷链物流共同决定, 数据特性分析对于数据质量形成机理具有指导作用。限于篇幅, 本文对视频、图片和文字等数据类型涉及较少, 主要讨论冷链监测物联网中结构数据, 并期以此提供可以借鉴的逻辑思路。

1.2 监测数据质量形成机理

理解数据质量形成机理是实现数据质量控制与形成的基础, 从数据的生命周期的视角分析其过程管理并进行优化, 切合冷链监测物联网复杂性、协调性和成本性, 把数据获取当作具有可控流程来分析, 有利于结合实际冷链来解决数据问题。

如图 1 所示, 冷链物联网监测数据质量受物联网获取技术特征与冷链流程关键控制点两个维度形成的数据传递关键点的影响。通过数据不确定性、动态性、阶段性、多因素影响、流程与批次复杂性以及产品易腐性、生物特性、包装形式多样等内容, 结合监测技术数据特性、冷链场景、数据加工处理流程^[25]特点以及工程实践对质量形成与传递机理进行分析。冷链数据质量形成主要包含误差分布、数据质量与能耗均衡、综合数据质量 3 个层次, 具体通过误差来源和表现类型影响冷链监测数据采集质

量, 之后由一系列技术特性而影响数据集的形成与传递, 又由传输质量与效率、过程控制水平、存储管理 3 方面影响数据传播与存储质量, 随后经由不同模型应用模式对数据加工处理与分析的影响, 并最终形成冷链监测物联网数据质量。

基于上述机理的分析, 将冷链物联网监测数据质量定义为: 由监测物联网技术获取或持续不断生产的, 在其完整生命周期内该数据集满足冷链监测过程需求和组织服务需求程度的多维度度量, 且其因组织需求、监测任务、时间点差异而变化。当前, 冷链监测实践中数据的不确定性和服务应用的质量仍制约冷链精细管理效果, 数据质量评估有利于通过追踪方法优化传感数据流即时处理过程, 以便在有潜在数据质量变化和分布式获取方式下保持数据流处理系统的效率^[26]。因此, 冷链物联网监测数据质量评估研究能够有效减轻低质量数据对后续系统应用的累积影响。

1.3 监测数据质量评估与优化流程

为在持续的质量评估和管理框架内提高数据质量和功能, 针对完整生命周期内的数据实现动态质量维护方法^[27], 不断寻找最优的数据管理方法和技术工具需要特别强调数据维护的过程导向。如图 2

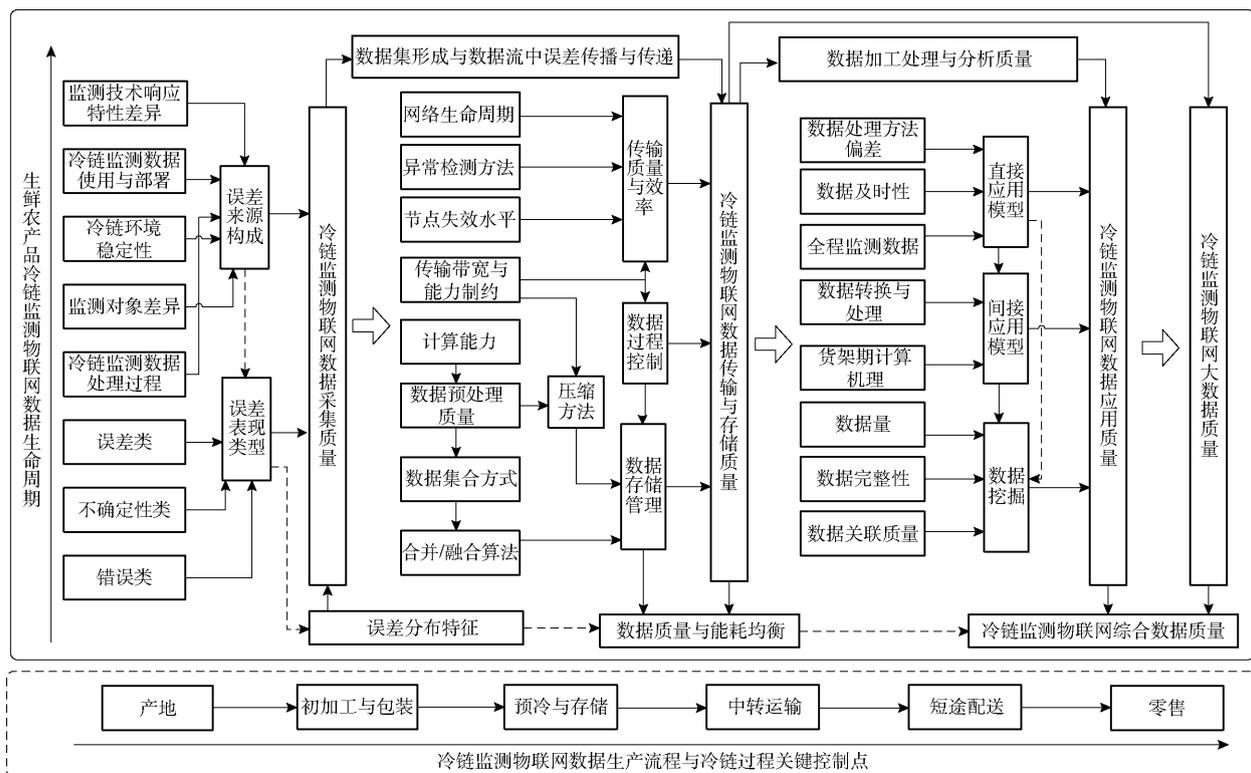


图1 冷链物联网监测数据质量形成机理

Fig. 1 Cold chain monitoring IoT data quality formation mechanism

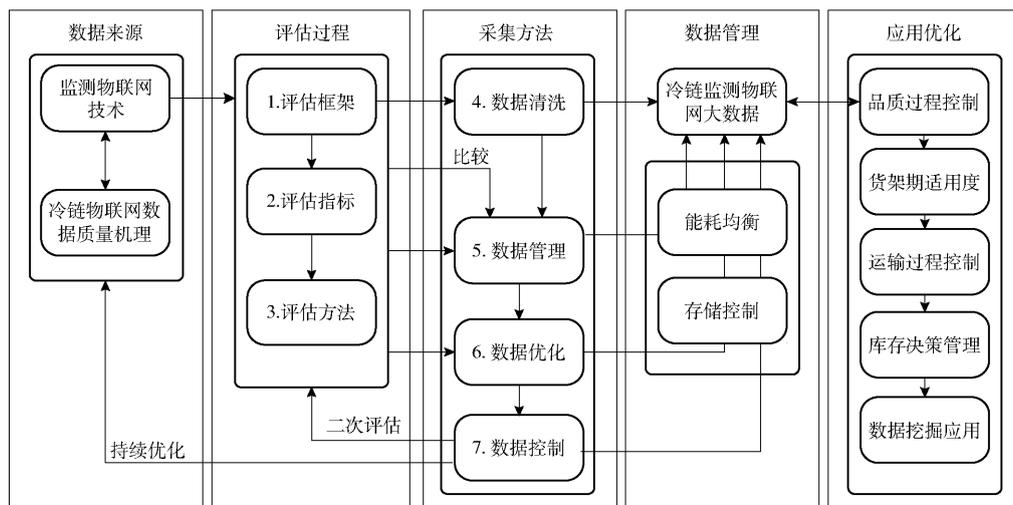


图2 冷链物联网监测数据质量评估与优化基本流程

Fig. 2 Basic process of data quality assessment and optimization in cold chain

所示,冷链物联网监测数据质量评估与优化逻辑流程包含评估、比较、治理、控制、优化等内容,涵盖了数据源、评估、采集、管理与应用优化部分的内容。其中基于物联网技术的持续监测、定期监测和控制等技术手段是进一步优化控制的基础与准则,在由冷链物联网监测数据源到数据终端或数据池的监测评估与持续改进过程中起着重要的中间媒介作用。

图2所示流程适用于单一技术和多种技术混合监测中数据质量的评估,在适当冷链场景中数据生产流程的过程性是相似的,且是一个动态时变过程,

有效理解、追踪、监测数据评估优化流程能够有效实现保障安全和过程控制等需求。因此,将冷链监测物联网中数据生产过程视为一个可以控制、可以持续优化的流程。作为冷链监测中的共性技术,提供可测量、可重复、可理解、可解释的适应于冷链监测应用实践的标准以及数据质量评估与优化技术是必要的。

2 冷链物联网监测数据质量评估

数据质量模型与冷链监测物联网环境、评价方法相互适应,对数据质量评估研究的综述和冷链监

测场景理解是定义冷链物联网监测数据质量的基础,因此,本节通过对不同领域数据质量测量框架、指标的体系与评估方法 2 方面来分析冷链监测物联网评估方法。

2.1 监测数据质量评估框架

大量研究从数据视角指出数据质量的重要性,尤其是对基于物联网监测数据的研究。MCNAULL 等^[28]通过探讨辅助生活环境监测系统中数据质量

问题,指出缺乏数据质量控制可能导致系统基于不正确数据、信息和知识输入而做出错误决策,SONG 等^[29]更是直接指出数据质量在任何网络物理系统(Cyber physical system, CPS)中都很常见。这些算法都通过探讨数据质量测量改进算法对监测实践的影响,证明积极的结果与数据质量改进过程的实施紧密相连^[30]。表 2 分析对比了不同领域中数据质量评估实践中常见的评估框架。

表 2 基于监测物联网的数据质量评估框架及其特点

Tab. 2 Organization forms of evaluation methods and their characteristics

数据来源	应用领域	评估框架	具体内容	优势	文献序号
能耗数据	加工制造	数据驱动的分析框架以及分布式并行框架	大数据质量预测	降低能源消耗和能源成本	[31 - 32]
开放数据	智慧城市	基于张量的大数据管理框架	数据质量评估框架	需求响应管理	[33]
生活环境监测数据	医疗健康	结构层质量检查、结合数据质量评估与表现的框架	基于上下文知识	有效减轻医疗的错误警报	[28,34 - 35]
环境监测数据	环境监测	系统视角的质量属性与模型框架	质量筛选	提高数据监测质量	[36 - 37]
电力能源数据	智能电网	基于数据分析的评估框架	数据质量	有效解决电能使用与分配	[38]

(1) 针对不同信息类别中的数据质量的研究

BRONSELAER 等^[39]针对不完整信息,提供了数据质量的渐进式测量方法。ARDAGNA 等^[40]针对大数据,提出了上下文意识的数据质量评估方法。HAEGEMANS 等^[41]针对人工获取的数据,提供了一种提升人工获取数据质量的基于任务-技术拟合结构防止错误输入的理论框架。TAGGART 等^[42]基于结构数据质量报告检查结构化数据质量报告以及反馈会话的方式来改进医疗信息中的数据质量。CHENG 等^[43]探讨了 WSN 传感数据中“数据质量分析 + 清洗策略”的数据质量分析框架。GRECO 等^[44]针对医疗物联网(Internet of medical things, IoMT)类传感器数据流,在可穿戴传感器参与构建的基于开源大数据技术背景下,对该技术和架构中的数据流进行了实时分析。因此,在关联数据^[45]的实际评估过程中,更多情况则是统计方法、用户反馈以及规则约束等 3 种方法的综合性应用,考虑到冷链物联网监测数据所涉及的多种数据类型,应提出一种混合数据质量评价框架。

(2) 针对数据质量在不同场景的应用研究

结合冷链监测物联网中数据信息类别与监测场景的评估框架是可行的,也有利于从理论和实践的角度解决冷链监测物联网中的数据质量问题。通过分析加工制造、政府治理、医疗健康、环境监测和能源电网 5 个典型监测物联网应用中数据质量评估框架及其特点,结合不同领域识别出内容质量和可靠性关键质量尺度对持续改进服务质量的影响最

大^[46],因此要提出面向冷链全场景的监测物联网完整质量管理。

通过以上相关文献分析,提出结合冷链物联网监测数据特性、具有应用场景意识和基于冷链监测物联网数据质量形成机理的多指标体系的评估框架。该框架应该能够结合冷链监测实际需求,考虑由不同监测技术所导致的信息类别差异以及场景差异,能够描述数据质量传递特点,最终实现数据质量完整评估,从而为后续数据意识深入发展与数据质量评估奠定基础。

2.2 监测数据质量评估指标体系与方法

数据质量评估指标、方法与特定评估对象指标相互适应,关注过程中数据质量及其整体性,从数据质量模型出发,借鉴其他评估场景中评估体系和方法可以建立冷链物联网监测数据质量评估指标体系与方法。

表 3 为物联网数据质量评估方法的比较与分析,KARKOUCH 等^[55]从数据质量的角度对物联网中数据质量的研究进行了综述,提出可以针对冷链监测物联网系统中的数据在精度、数据量、客观性、完整性、可靠性、可验证性、安全性^[56]等多维度上的表现进行有意识的治理。而基于多维度的数据质量评估方法有加权^[57]、混合方法^[58]、改进层次分析、数据细节刻画^[59]以及其它改进量化方法等,分析数据质量多种性质的关联关系,可以作为对于权衡和分析不同质量指标之间关系和优化方法的重要参考。通过以上分析得出,可结合数据特性、监测技术

表3 物联网数据质量评估方法的构成形式与比较分析

Tab.3 Organization forms of evaluation metrics and their characteristics

数据类型	数据场景	评估指标	评估方法	具体内容	优势	文献序号
GNSS 数据	卫星定轨	多路径效应、数据完整率、周跳以及信噪比、数据有效率	基于 Topsis 综合评价模型	综合考虑各指标进行综合评价	有助于提高 GNSS 定轨精度	[47]
海洋环境监测数据	海洋监测	延时数据:有效性、可读性、精度、时间跨度、完整性 实时:准确性、合理性、代表性	自动化数据判别与检验、数理统计方法、专业判别方法、代表性评估方法	评价多源海洋观测数据的参考方法	适用数据种类结构多,具有动态、区域性等特征数据	[48-49]
信息系统数据	信息系统决策管理	正确性、准确性、一致性、完整性	基于二次变权的改进层次分析方法	通过对指标值的激励或惩罚,实现指数函数变权	评估的结果更加贴近实际、可信度更高	[50]
电力企业运营监测(控)数据	智能电网环境、电力消耗	数据接入情况(数据自动采集率、历史数据接入率)、准确性、完整度、一致性、及时性、冗余度	熵权和层次分析法/采用熵权和灰色系统理论	利用熵权法计算数据集权重,采用灰色评估法判断数据质量等级	数据质量评价的定量表示	[51-52,46]
传感网络数据	物联网与 WSN	精度、数据量、客观性、完整性、可靠性、可验证性、安全性、通信网络质量(接收信号指示、丢包率、接收包率、链路质量指示)	影响因素与问题表征的分析与比较方法	数理统计方法、定性分析与测试计算、拓展分类与数据质量增强技术	较好的适用性,提高物联网数据质量	[47,53-54]

特性、冷链监测流程与场景特性以及数据用途构建冷链物联网监测数据质量分析框架与方法。因此,冷链物联网监测数据质量应从准确性、数据量、完整性、时效性、及时性、完整度、信息量、可靠性、安全性以及模型适用度等方面展开,并以综合评价方法、模糊综合评价等综合方法实现各个维度指标之间的均衡与可视化。也只有适应冷链监测数据应用需求的评估意识和方法,才能通过比较和持续改进来实现冷链监测物联网中数据管理和控制,不断在工程实践中优化服务管理,推进数据意识在农产品冷链监测物联网中的深入。

3 冷链物联网监测数据质量优化关键方法

数据质量可测量是控制和优化的基础,下面以数据为中心视角^[60],从数据采集、数据传输与数据存储模型、数据处理与应用等5个层面对冷链物联网监测数据管理中的问题加以阐述。

3.1 监测数据预处理与优化方法

由上述分析可知冷链监测物联网数据具有典型数据流特征。因为其由传感器等监测实体中持续产生,硬件设备固有限制以及环境噪声等因素容易造成多维属性的影响。例如,为了保证数据获取的准确性、完整性和一致性等质量属性,需要构建异构多源多模态感知方法^[61],AYADI等^[62]和MUHAMMED等^[63]分别通过对WSN环境下检测方法的比较分析提出选择合适方法来实现异常检测和错误检测的重要性。而MASSAWE等^[64]则通过自

适应数据清洗框架减少RFID数据流错误读数。表4所示为冷链物联网监测数据感知与优化方法的具体对比与分析,这些方法适用冷链物联网监测数据,对于建立更有效的方法具有借鉴和导向作用。

此外,在感知数据质量优化方法研究方面,有学者从数据质量、类型、应用视角分析物联网数据质量的采集压缩技术可行性^[81]。针对冷链监测物联网的感知场景和需求多样化的特点,KANG等^[82]通过模拟研究不同采样频率对冷链监测效果的影响,而需要更快交易和运营数据的动态供应链组织系统则需要更快的物联网数据采样频率^[83]。

以上研究从数据感知精度优化、过程异常检测、数据预处理以及算法设计与技术的角度,通过增加监测数据的关联性和信息量来提高数据质量,应用场景分布式数据流清洗、在线插值技术、多传感参数融合技术实现物联网数据质量的控制以及多种算法的结合,能够显著提高某项或几项特定维度数据质量。后续研究应该从质量需求和数据质量角度加强数据采集质量管理,并且随着冷链监测中必要参数的增多,其它方面对监测数据质量优化问题凸显,应该加强这些环节的优化工作。

3.2 监测数据特性与传输存储管理

通过有效算法优化冷链监测物联网中能源效率是研究的重要内容。XIAO等^[8]通过压缩感知CS(Compressed sensing)方法来改善冷冻和冰鲜水产品冷链的监测效率,其后讨论了其能耗表现,并认为其在鲜食葡萄冷链管理上可作为一种高效率感知方

表 4 冷链物联网监测数据采集质量优化方法比较与分析

Tab. 4 Comparison and analysis of optimization methods for IoT data acquisition in cold chain monitoring

算法层次	处理对象	数据类型	采集方法	数据质量原因	改善质量指标	优化方法	效果与功能	文献序号
感知精度	多点温度传感数据	单温度数据	单传感器	时间-空间位置差异	准确性	自适应调节各传感器权重	提高冷链空间温度收集效率、计算简单、更接近真实值	[65]
	多源传感气体数据	传感数据	多气体传感技术	传感器响应特性	准确性	多传感特征参数分析与线性回归优化	提高冷链物流气体传感器应用及监控的精度、灵敏度和稳定性	[66]
	品质感知数据	品质数据	TTI	匹配条件	准确性	动态校准	扩大了适用范围、提高指示货架期精确性	[67]
	实时数据获取	不同传感数据类型融合	WSN	传感器漂移	准确性	在线校准方法/分类器集合的方法	偏移补偿、在线动态校准、提高监测精度	[68 - 69]
异常检测与控制	监测数据	大数据	IoT	物联网结构和大数据	完整性	异常值检测算法	优化大数据数据流处理过程	[70]
	异构传感数据	传感数据	异构 WSN	传感本身和环境产生的异常	完整性、准确性	基于机器学习和多参数化可编辑距离的短长异常监测	基于边缘和云计算的组合	[71]
	环境监测传感数据流	时间序列数据	NRAQC	缺乏数据质量控制	时效性	准实时质量自动控制	规范环境传感数据、有利于数据管理实践和质量数据传播	[72]
数据预处理	传感器数据流	多维时间序列	WSN	受限的硬件功能和有限的电源	完整性	综合离群点检测方法与窗口局部敏感分析	适应单维、多维异常定义	[73]
	传感数据	严格时间序列的数据	WSN	检测算法的局限性	时效性	深度学习算法结合小波、神经网络和希尔伯特变换	更有效的时间序列数据异常实时检测	[74]
	冷链温度	传感数据	WSN	信息熵	信息量	分簇数据融合/多源数据融合/改进粒子群优化	改进惯性权重因子设计、进行收缩因子调整	[75 - 76]
数据预处理	模糊和不确定数据	网络化 RFID 传感网络	RFID	全局对象跟踪模型/本地 RFID 数据清理模型	正确性	基于马尔可夫模型/粒子滤波器的模型/粒子滤波器	用于本地处理噪声/高效的管理	[77]
	分布式数据流	传感数据	WSN	监测数据错误与不确定	正确性、一致性	分布式在线数据流清洗的框架	优化分布数据的正确性	[78]
	环境数据	传感数据	WSN	功耗、噪声等	准确性	利用本地传感器节点的相关属性以及与其中继邻居的协作	在线清洗技术、计算轻量化、节能	[79]
	不完整数据	多传感数据 WSN	WSN	监测网络的适用性	完整度、信息量	运用相关性的 (MDF) 多传感数据融合方法	不损失数据准确性、增加多应用场景适应性、拓展网络生命周期	[80]

注:NRAQC 为近实时自主质量控制系统。

法^[49]。此外,针对环境感知的无线传感器网络路由方法进行了比较分析^[84], MARJANOVIC 等^[85]针对不同应用需求和地理传感器分布情景评估其节能效果,利用质量驱动的传感器管理功能可以实现能耗降低,有利于生鲜农产品冷链微环境监测的场景特点的适应性和网络能耗控制路由方法选择。因此深入研究无线传感器网络能量优化方法,对传输层数据质量优化具有积极意义。

在数据传输及时性与数据质量管理方面, VASCONCELOS 等^[86]研究了应用于中断连接 WSN 场景中数据采样方法,构建了基于简单克里金插值的现象重建的延迟容忍传感器网络模型,其数据感知丢弃策略的性能比传统优两倍。LIONO 等^[87]采用数据质量估算技术的数据汇总机制框架,实现基于质量驱动的数据高效存储管理,能够有效减少存储数据量。在网络连接异常检测上, GHALEM 等^[88]

提出了一种基于 copula 的概率多变量异常检测方法,其性能优于现有的统计方法。在通信部署形式上,CHEN 等^[17]使用无源 RFID 取代半无源标签与传感器构成无源标签,构建了一种智能的冷链系统,有效降低了各项成本。TU 等^[89]则提出利用密码学开发基于知识的方法解决供应链中条形码和 RFID 标签分离的问题,以识别 RFID 标签损坏和/或与其相关对象分离的现象,这些问题的深化研究有益于冷链监测场景中数据质量提升。

而对冷链监测传输的安全性与可靠性研究较少,ERGULER^[90]分析了基于 RFID 的物联网的缺点,指出物联网中的 RFID 身份验证协议需要新的安全机制,考虑 RFID 受损或者与后端服务器之间的通信渠道不安全造成的潜在安全风险,提供一种加强基于 RFID 和 WSNs 的物联网应用表现的框架,通过模糊 Q 算法和基于模糊系统的路由分类器解决 RFID 与 WSN 集成中可靠性问题,能够提高识别性能、降低丢包率、降低节点能耗、网络负载均衡^[13]。同时,相关学者也从时间延迟、网络规模、能效、可扩展性和可靠性等参数比较现有方法,从综合研究的角度对移动无线传感网络(Mobile wireless sensor networks, MWSNs)数据传输的可靠性进行了探讨^[91]。

综合来讲,WSN、RFID、ZigBee、WiFi 等也都应用于冷链监测传输部分,通过算法来实现这些技术在传输性能和存储集成问题,能够通过改善数据质量有效提高能效和服务质量。因此,冷链物联网监测也应更加注重传输连接、数据存储等所带来的数据及时性、数据量、可靠性以及安全性等问题。

3.3 监测数据关联性与技术优化

冷链物联网监测更加注重通过数据关联发现差异来增强品质控制与过程可视化。BADIA-MELIS 等^[92]通过数据估计(Data estimation)预测方法预测制冷集装箱中果实温度,发现果实温度存在明显差异。为了加强对冷链监测差异进一步的控制,WANG 等^[93]利用 WSN 节点为冷链提供完整准确的温度、湿度和气体监测信息,对桃和油桃冷链进行了品质监测和差异分析,进一步构建多传感器管理的追溯系统,有效提高了出口蜜桃冷链中的质量控制和透明度^[94]。FENG 等^[95]通过整合无线传感器网络(WSN)监测影响质量特征的温度、湿度、氧含量、二氧化碳含量等动态指标,建立基于知识的 HACCP 质量控制计划,提高了冷链管理透明度,加强了冷冻贝类的质量控制。此外,在包装层面,通过一种长距离的无源 RF 传感器监测包装内蔬菜的新鲜度提高监测关联度可增强冷链中时间-温度透明度^[96]。还

有学者依托 RFID 感知的温度指标监测来实现对生鲜鱼包装的改善作用^[97],用物联网监测的数据来改善物流中包装的效果,其数据可以作为将包装的效率进行可视化,因此,冷链监测与品质控制更加依托监测技术应用所获取的数据。

提高冷供应链可追溯性的各种识别技术,通过选择技术上可行、实用、经济、产品声誉、质量和安全性方面来确定可追溯性和结构适用性^[14]。XIAO 等^[98]通过结合 WSN 和 AOW 的方法探讨不同鲜食葡萄在冷链中的影响。为了改善鲜食葡萄冷链的追溯性和透明度,WANG 等^[10]针对实际的冷链进行了跟踪测试,开发并评估了基于 WSN 的多传感系统,证明了其有效性。JEDERMANN 等^[99]通过调整微型半被动 RFID 温度记录仪分析局部偏差量、检测温度梯度完成空间温度分析,估算了卡车或集装箱内可靠监测所需最小传感器数量,刘静等^[100]对冷藏车中传感器布点进行了优化。此外,THAKUR 等^[101]在运输过程中将 RFID 与温度传感器结合,提供了一种基于 EPCIS (Electronic product code information services)的在线温度监测和追溯应用,通过监测并记录冷藏羊肉产品冷链的时间-温度信息,减少温度变化引起的质量损失来优化整个食品供应链性能。基于高质量监测数据的追溯是食品供应与冷链监测中必不可少的一部分,因此应进一步优化其技术组合。

3.4 监测数据与模型应用适用度

应加强冷链监测数据与货架期模型的应用适用度,TSIRONI 等^[9]在真实冷链环境下通过评估用于货架期监测的时间温度指示器,指明在真实冷链的货架期预测中存在偏差问题。随后针对实际冷链中鲜切沙拉的货架期预测模型,对预测模型的适用性及统计误差等问题进行了讨论^[102]。刘雪等^[103]则通过不同温阶实验模拟比较动力学预测模型和 BP 神经网络预测模型的预测效果,精度达到 95.93%。同时,GORANSSON 等^[104]也通过温度场论证了在生鲜食品供应链中在货架单元不同位置所产生的货架期差异,并从多个场景实地评估了食品冷链温度表现与货架期动态预测和印刷保质期关系,证明不同温度效率的食品冷链存在显著差异,证明全程监测可以实现动态货架期的预测,能够有效提高冷链透明度,支持改善标称货架期^[105]。后续研究应加强和改善数据质量与冷链货架期预测方法的需求适用性。

与此同时,冷链中基于监测数据的货架期预测研究机理更接近冷链食品品质变化本质,因而能有效提高预测结果的准确性与适用性^[106]。张虎等^[67]

通过对品质感知的 TTI 进行动态校准,对品质变化的指示效果更明显。邢少华等^[107]结合 Baranyi 模型探讨波动温度条件下的微生物生长动力学模型,建立了能够拟合实际冷链物流环境中罗非鱼微生物变化情况的微生物生长动力学模型。同样,DERMESONLUOGLU 等^[108]在冷链动态环境下进行了冷冻菠菜品质指标和货架期模型的动力学研究,并定量评估温度偏差的影响,并对实际冷链中剩余货架期进行了测量。还有学者通过构建特定的智慧物流单元,利用温湿度结合水果挥发性有机化合物和二氧化碳气体信息进行剩余货架期预测,能够用于易腐食品供应链的高效管理^[109-110]。此外,也有研究冷链后期零售环节中的环境条件对果蔬品质和浪费的影响。因此,应加强结合冷链具体环境和产品品质变化的参数监测与预测的质量。

3.5 监测数据实时性与动态决策管理

在冷链位置信息和场景结合增强运输过程控制与动态决策质量方面,LA SCALIA 等^[110]通过确定合适的追溯单元或监测单元,在易腐食品供应链中用智慧物流单元实现精细高效管理。RUAN 等^[111]通过使用多场景分析的方法,基于物联网关注电子商务运输中果蔬新鲜度的监测与评估,但没有结合实际跟踪。针对西红柿^[112]、香蕉等典型呼吸跃变型果蔬,通过气调和湿度包装等技术可以减少冷链中西红柿冷害的发生和延缓或加速果实成熟^[113],从而实现运输过程控制。OLIVEIRA 等^[114]通过地理围栏技术与 RFID 感知技术的结合,实现对物流过程位置管理,TSANG 等^[115]基于食品实时监控构建用于保障果蔬等易腐食品质量的智能模型,通过遗传算法(GA)制定最佳递送路线,减少运输过程中食物腐败率以及路线规划和劣质食品交付所需的时间,有效分配具有不同处理要求(例如温度和湿度)的多种类型的食品,以将期间的腐败率最小化。

应通过货架期数据的实时性加强生鲜农产品库存管理决策质量,HERBON 等^[116]将场景意识引入到易腐食品的库存管理中,通过品质状态和自动化预测设备来监测货架期变化,以减少货架期差异所导致的利润变化。SCIORTINO 等^[19]则通过提高参数处理的实时性决策应用,通过草莓运输结合位置信息比较不同货架期预测模型,实现 GIS 系统的实时货架期预测方法和在线动态销售。在冷链物流网络中智能冷链集装箱能够实时精确监控水果品质状况并结合其所跟踪地理位置,基于气候控制和增强的分配策略,从而减少运输损失^[117]。在 FEFO 策略和冷链物流实时监测系统的基础上,QI 等^[118]将 WSN 和 TTI 特性结合易腐食品货架期预测和 LSFO

决策支持系统,有效弥合不同冷链阶段企业之间的信息差距,提供了整个链条的无缝信息流,能够有效降低质量和经济损失,因此,加强货架期预测的实时性能有效降低损失。

3.6 监测数据完整性与数据挖掘

冷链监测数据完整获取能够加强冷链管理与信息挖掘,为此 GOGOU 等^[119]开发了一个基于网络平台的冷链数据库,用于整个冷藏和冷冻食品供应链中的温度条件数据收集,收集了包括所有冷链阶段(生产、加工、分销商、零售商和消费者)的数据,以作为有价值的冷链管理工具,促进冷链改进和管理。WANG 等^[120]采用关联规则挖掘和物联网技术构建及时监控供应链所有检测数据的食品安全预警系统,基于数据挖掘能够有效识别奶制品安全风险。ER KARA 等^[121]采用数据驱动方法将数据挖掘和风险管理活动集成在一个独特的框架中,支持从非结构化数据中识别、评估和减轻供应链中不同类型的风险,实现风险管理。因而,提高冷链监测数据的完整性能够有效提高挖掘决策管理质量,冷链监测数据也应加强数据的完整性、相关性等结构特性。

以上文献的分析表明,冷链研究开始有意识地从提高数据质量的角度解决冷链监测货架期的计算和应用问题,通过多种数据信息的关联处理与挖掘对决策质量优化具有引导和规范作用,因而逐渐成为冷链监测物联网决策平台与数据质量管理核心内容。

本文主要对冷链监测物联网技术与实践中数据质量相关研究和优化方法进行了综述,冷链物联网监测数据质量控制优化方法基本上涵盖了当前冷链监测物联网技术和主要应用场景,能够为冷链物联网监测数据产生与处理研究提供参考和借鉴。

4 冷链物联网监测数据质量评估与优化研究展望

冷链物联网监测数据质量评估与优化是冷链监测物联网持续发展的重要内涵,能够为冷链监测物联网技术发展与应用提供针对性发展建议,是应对冷链监测物联网与服务应用之间需求的技术手段,是冷链物联网监测数据满足组织服务需求、融入物联网大数据发展的必要过程,有助于加速形成大数据。结合数据质量评估方法与技术综述,以及冷链监测物联网工程实践中的经验总结,冷链监测物联网中数据质量评估与优化技术未来研究方向主要包括以下几点:

(1) 注重从数据视角解决冷链监测物联网数据产生过程与流程的数据质量问题。以数据的视角,从数据生产流程产生机理看待监测物联网中的数据

获取过程,为发现、解决和处理数据获取中数据质量问题提供新的视角,有助于从数据质量层面理解和运用技术,数据生产过程的控制、挖掘技术的潜能,创新技术应用,为从理论层面解决冷链监测的物联网化提供新的研究路径。

(2) 数据质量评估技术、方法与应用场景、流程需求差异化的结合日益紧密。数据质量评估技术与方法在处理不断涌现的物联网监测数据时具有愈来愈重要的位置,目前尚未形成适用于冷链监测物联网技术和各类型数据质量的通用评估方法,更加注重冷链监测的流程特点和场景化研究,构建冷链物联网监测数据质量评估方法是必要的。

(3) 数据质量的测量与评估逐渐成为冷链物联网监测数据质量持续优化的关键。数据质量评估框架决定了数据质量的评估方法,而数据质量管理可以提供统一和一致的认识,通过结合数据质量的度量来实现数据质量的优化,应结合冷链监测物联网组织的数据需求来加强数据质量指标体系建设,使

之更加符合机构对冷链监测物联网技术的需求,能够提高部门对冷链监测物联网技术的满意度。

(4) 冷链监测数据获取应注重物联网过程中数据特性、数据特征以及与获取流程的匹配性。数据监测获取结合数据生产过程关键点的控制,通过多参数、完整链条能够实现对冷链监测过程和场景的完整详细描述,压缩感知,数据存储管理、成本能耗与数据质量的权衡、设备的小型化与智能化(智能包装)、低成本则更加便于部署,贴近真实,增强数据的完整性和真实性。

(5) 冷链物联网监测数据质量提升应注重物联网监测技术的协同优化与性能挖掘。通过多种监测技术的配合、协同应用以及工程应用的实践检验,更加注重数据采集技术与混合方法的使用,通过有效增加监测数据的质量属性、维度以及关联度来提高数据质量,进一步增强所构成的一组技术参数之间的衔接以及技术的质量和实用性,为数据挖掘、处理应用等大数据应用提供基础数据。

参 考 文 献

- [1] POYATOS-RACIONERO E, ROS-LIS J V, VIVANCOS J L, et al. Recent advances on intelligent packaging as tools to reduce food waste [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 172: 3398 - 3409.
- [2] LLOYD J, LYDON P, OUHICHI R, et al. Reducing the loss of vaccines from accidental freezing in the cold chain: the experience of continuous temperature monitoring in Tunisia [J]. *Vaccine*, 2015, 33(7): 902 - 907.
- [3] NDRAHA N, HSIAO H I, VLAJIC J, et al. Time-temperature abuse in the food cold chain: review of issues, challenges, and recommendations [J]. *Food Control*, 2018, 89: 12 - 21.
- [4] BOTTA A, DE DONATO W, PERSICO V, et al. Integration of cloud computing and Internet of Things: a survey [J]. *Future Generation Computer Systems*, 2016, 56: 684 - 700.
- [5] 杨建亮,侯汉平. 冷链物流大数据实时监控优化研究[J]. *科技管理研究*, 2017, 37(6): 198 - 203.
YANG Jianliang, HOU Hanping. Research on real-time monitoring optimization of cold-chain logistics big data [J]. *Science and Technology Management Research*, 2017, 37(6): 198 - 203. (in Chinese)
- [6] BABAK S, AHMAD K. Systematic method for finding emergence research areas as data quality [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2018, 137: 280 - 287.
- [7] BADIA-MELIS R, MC CARTHY U, RUIZ-GARCIA L, et al. New trends in cold chain monitoring applications—a review [J]. *Food Control*, 2018, 86: 170 - 182.
- [8] XIAO X, HE Q, FU Z, et al. Applying CS and WSN methods for improving efficiency of frozen and chilled aquatic products monitoring system in cold chain logistics [J]. *Food Control*, 2016, 60: 656 - 666.
- [9] TSIRONI T, GIANNOGLOU M, PLATAKOU E, et al. Evaluation of time temperature integrators for shelf-life monitoring of frozen seafood under real cold chain conditions [J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2016, 10: 46 - 53.
- [10] WANG X, HE Q, MATETIC M, et al. Development and evaluation on a wireless multi-gas-sensors system for improving traceability and transparency of table grape cold chain [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2017, 135: 195 - 207.
- [11] SINGH S, GAIKWAD K K, LEE M, et al. Temperature sensitive smart packaging for monitoring the shelf life of fresh beef [J]. *Journal of Food Engineering*, 2018, 234: 41 - 49.
- [12] GHAANI M, COZZOLINO C A, CASTELLI G, et al. An overview of the intelligent packaging technologies in the food sector [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2016, 51: 1 - 11.
- [13] SOBRAL J V V, RODRIGUES J J P C, RABELO R A L, et al. A framework for enhancing the performance of Internet of Things applications based on RFID and WSNs [J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2018, 107: 56 - 68.
- [14] OSKARSDOTTIR K, ODDSSON G. Towards a decision support framework for technologies used in cold supply chain traceability [J]. *Journal of Food Engineering*, 2019, 240: 153 - 159.
- [15] 郭斌,钱建平,张太红,等. 基于 ZigBee 的果蔬冷链配送环境信息采集系统[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(6): 208 - 213.
GUO Bin, QIAN Jianping, ZHANG Taihong, et al. ZigBee-based information collection system for the environment of cold-chain logistics of fruits and vegetables [J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(6): 208 - 213. (in Chinese)
- [16] 孙旭,杨印生,郭鸿鹏. 近场通信物联网技术在农产品供应链信息系统中应用[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(19): 325 - 331.
SUN Xu, YANG Yinsheng, GUO Hongpeng. Applications of near field communication of Internet of Things in supply chain information system of agricultural products [J]. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(19): 325 - 331. (in Chinese)
- [17] CHEN Y, WANG Y, JAN J. A novel deployment of smart cold chain system using 2G - RFID - Sys [J]. *Journal of Food*

- Engineering, 2014, 141: 113 – 121.
- [18] ZHANG X, SUN G, XIAO X, et al. Application of microbial TTIs as smart label for food quality: response mechanism, application and research trends [J]. Trends in Food Science & Technology, 2016, 51:12 – 23.
- [19] SCIORTINO R, MICALE R, ENEA M, et al. A web GIS-based system for real time shelf life prediction [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2016, 127: 451 – 459.
- [20] 赵春江, 郝玲, 杨信廷, 等. 农产品视频履历追溯系统设计[J/OL]. 农业机械学报, 2012, 43(12): 118 – 122.
ZHAO Chunjiang, HAO Ling, YANG Xinting, et al. Design of video record for agricultural products traceability system [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(12): 118 – 122. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20121222&flag=1. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2012.12.022. (in Chinese)
- [21] CHEN H, ZHANG M, BHANDARI B, et al. Applicability of a colorimetric indicator label for monitoring freshness of fresh-cut green bell pepper [J]. Postharvest Biology and Technology, 2018, 140: 85 – 92.
- [22] HUANG X, ZOU X, SHI J, et al. Colorimetric sensor arrays based on chemo-responsive dyes for food odor visualization [J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 81: 90 – 107.
- [23] BURATTI S, MALEGORI C, BENEDETTI S, et al. E-nose, E-tongue and E-eye for edible olive oil characterization and shelf life assessment: a powerful data fusion approach [J]. Talanta, 2018, 182: 131 – 141.
- [24] HONG X, WANG J, QI G. E-nose combined with chemometrics to trace tomato-juice quality [J]. Journal of Food Engineering, 2015, 149: 38 – 43.
- [25] TORNGREN M, DARRE M, GUNVIG A, et al. Case studies of packaging and processing solutions to improve meat quality and safety [J]. Meat Science, 2018, 144: 149 – 158.
- [26] ZVARA Z, SZABÓ P G N, BALÁZS B P G N, et al. Optimizing distributed data stream processing by tracing [J]. Future Generation Computer Systems, 2019, 90: 578 – 591.
- [27] OZMEN-ERTEKIN D, OZBAY K. Dynamic data maintenance for quality data, quality research [J]. International Journal of Information Management, 2012, 32(3): 282 – 293.
- [28] MCNAULL J, AUGUSTO J C, MULVENNA M, et al. Data and information quality issues in ambient assisted living systems [J]. ACM Journal of Data and Information Quality, 2012, 4(1): 1 – 15.
- [29] SONG Z, SUN Y, WAN J, et al. Data quality management for service-oriented manufacturing cyber-physical systems [J]. Computers and Electrical Engineering, 2017, 64: 34 – 44.
- [30] HAZEN B T, WEIGEL F K, EZELL J D, et al. Toward understanding outcomes associated with data quality improvement [J]. International Journal of Production Economics, 2017, 193: 737 – 747.
- [31] ZHANG Y, MA S, YANG H, et al. A big data driven analytical framework for energy-intensive manufacturing industries [J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 197: 57 – 72.
- [32] YAO L, GE Z. Big data quality prediction in the process industry: a distributed parallel modeling framework [J]. Journal of Process Control, 2018, 68: 1 – 13.
- [33] JINDAL A, KUMAR N, SINGH M. A unified framework for big data acquisition, storage, and analytics for demand response management in smart cities [J]. Future Generation Computer Systems, 2018, 2: 1 – 14.
- [34] REMKO V D T, BAKKER P J M, JASPERS M W M. A framework for performance and data quality assessment of radio frequency identification (RFID) systems in health care settings [J]. Journal of Biomedical Informatics, 2011, 44(2): 372 – 383.
- [35] RYZHOV A, BRAY F, FERLAY J, et al. Evaluation of data quality at the national cancer registry of Ukraine [J]. Cancer Epidemiology, 2018, 53: 156 – 165.
- [36] GARCES L, AMPATZOGLOU A, AVGERIOU P, et al. Quality attributes and quality models for ambient assisted living software systems: a systematic mapping [J]. Information and Software Technology, 2017, 82(2): 121 – 138.
- [37] LIU J, LI W, LI J. Quality screening for air quality monitoring data in China [J]. Environmental Pollution, 2016, 216: 720 – 723.
- [38] CHEN W, ZHOU K, YANG S, et al. Data quality of electricity consumption data in a smart grid environment [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 75: 98 – 105.
- [39] BRONSELAER A, NIELANDT J, DE TRÉ G. An incremental approach for data quality measurement with insufficient information [J]. International Journal of Approximate Reasoning, 2018, 96: 95 – 111.
- [40] ARDAGNA D, CAPPIELLO C, SAMÁ W, et al. Context-aware data quality assessment for big data [J]. Future Generation Computer Systems, 2018, 89: 548 – 562.
- [41] HAEGEMANS T, SNOECK M, LEMAHIEU W. A theoretical framework to improve the quality of manually acquired data [J]. Information & Management, 2019, 56(1): 1 – 14.
- [42] TAGGART J, LIAW S T, YU H. Structured data quality reports to improve HER data quality [J]. International Journal of Medical Informatics, 2015, 84(12): 1094 – 1098.
- [43] CHENG H, FENG D, SHI X, et al. Data quality analysis and cleaning strategy for wireless sensor networks [J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2018(1): 61.
- [44] GRECO L, RITROVATO P, XHAF A F. An edge-stream computing infrastructure for real-time analysis of wearable sensors data [J]. Future Generation Computer Systems, 2019, 93: 515 – 528.
- [45] 姜恩波, 王振蒙. 关联数据质量评估研究综述 [J]. 情报杂志, 2016, 35(4): 171 – 176, 159.
JIANG Enbo, WANG Zhenmeng. The quality evaluation of linked data: an overview [J]. Journal of Intelligence, 2016, 35(4): 171 – 176, 159. (in Chinese)
- [46] KIM K H, KIM K J, LEE D H, et al. Identification of critical quality dimensions for continuance intention in mHealth services: case study of onecare service [J]. International Journal of Information Management, 2019, 46: 187 – 197.
- [47] 魏勇, 李建文, 郭亮亮, 等. 基于 TOPSIS 的 GNSS 数据质量评估方法研究 [J]. 大地测量与地球动力学, 2016, 36(10):

892 - 896.

WEI Yong, LI Jianwen, GUO Liangliang, et al. Research on GNSS data quality evaluation based on TOPSIS[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2016, 36(10):892 - 896. (in Chinese)

- [48] 于婷,刘玉龙,杨锦坤,等. 实时和延时海洋观测数据质量评估方法研究[J]. 海洋通报,2013,32(6):610 - 614,625.
YU Ting, LIU Yulong, YANG Jinkun, et al. Study on the quality control and quality assurance for the oceanographic data of real-time and delayed mode [J]. Marine Science Bulletin, 2013, 32(6): 610 - 614, 625. (in Chinese)
- [49] 郑琳,刘艳,崔文林,等. 海洋监测数据质量评估研究[J]. 海洋通报,2014,33(2):228 - 234.
ZHENG Lin, LIU Yan, CUI Wenlin, et al. Research on the quality assessment of marine environmental monitoring data [J]. Marine Science Bulletin, 2014, 33(2): 228 - 234. (in Chinese)
- [50] 严浩,裘杭萍,刁兴春,等. 基于改进层次分析的数据质量综合评估[J]. 计算机应用,2014,34(增刊1):287 - 290,297.
YAN Hao, QIU Hangping, DIAO Xingchun, et al. Comprehensive data quality assessment based on improved analytic hierarchy process[J]. Journal of Computer Applications, 2014, 34(Supp. 1):287 - 290,297. (in Chinese)
- [51] 杨栋枢,杨德胜. 基于熵权和层次分析法的数据质量评估研究[J]. 现代电子技术,2013,36(22):39 - 42.
- [52] 李刚,焦亚菲,刘福炎,等. 联合采用熵权和灰色系统理论的电力大数据质量综合评估[J]. 电力建设, 2016,37(12): 24 - 31.
- [53] KLEIN A, LEHNER W. How to optimize the quality of sensor data streams [C]//Fourth International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology, 2009: 13 - 19.
- [54] XIAO X, LI Z, MATETIC M, et al. Energy-efficient sensing method for table grapes cold chain management [J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 152: 77 - 87.
- [55] KARKOUCH A, MOUSANNIF H, AL MOATASSIME H, et al. Data quality in Internet of Things: a state-of-the-art survey [J]. Journal of Network and Computer Applications, 2016,73: 57 - 81.
- [56] SHAMALA P, AHMAD R, ZOLAIT A, et al. Integrating information quality dimensions into information security risk management (ISRM) [J]. Journal of Information Security and Applications, 2017,36: 1 - 10.
- [57] 袁满,张磊. 数据质量多属性加权评价算法[J]. 齐齐哈尔大学学报, 2010,26(1): 26 - 30.
YUAN Man, ZHANG Lei. Data quality assessment of multi-attribute weighted algorithm [J]. Journal of Qiqihar University, 2010,26(1): 26 - 30. (in Chinese)
- [58] WOODALL P, BOREK A, PARLIKAD A K. Data quality assessment: the hybrid approach [J]. Information & Management, 2013,50(7): 369 - 382.
- [59] AZEROUAL O, SAAKE G, SCHALLEHN E. Analyzing data quality issues in research information systems via data profiling [J]. International Journal of Information Management, 2018,41:50 - 56.
- [60] QIN Y, SHENG Q Z, FALKNER N J G, et al. When things matter: a survey on data-centric Internet of Things [J]. Journal of Network and Computer Applications, 2016,64: 137 - 153.
- [61] 马茜,谷峪,张天成,等. 一种基于数据质量的异构多源多模态感知数据获取方法[J]. 计算机学报, 2013, 36(10): 2120 - 2123.
MA Qian, GU Yu, ZHANG Tiancheng, et al. A heterogeneous multi-source multi-mode sensory data acquisition method based on data quality [J]. Chinese Journal of Computers, 2013,36(10): 2120 - 2123. (in Chinese)
- [62] AYADI A, GHORBEL O, OBEID A M, et al. Outlier detection approaches for wireless sensor networks: a survey [J]. Computer Networks, 2017,129:319 - 333.
- [63] MUHAMMED T, SHAIKH R A. An analysis of fault detection strategies in wireless sensor networks [J]. Journal of Network and Computer Application, 2017,78: 267 - 287.
- [64] MASSAWEL V, VERMAAK H, KINYUA J D M. An adaptive data cleaning scheme for reducing false negative reads in RFID data streams [C]//IEEE International Conference on RFID, 2012: 157 - 164.
- [65] 刘静,张小栓,傅泽田. 基于时空数据融合理论的冷链温度监控系统[J]. 农机化研究,2013,35(12):44 - 46.
- [66] 王想,肖新清,朱志强,等. 鲜食葡萄冷链物流气体传感器响应特征试验研究[J/OL]. 农业机械学报,2016, 47(1): 240 - 246.
WANG Xiang, XIAO Xinqing, ZHU Zhiqiang, et al. Experimental study of response characteristics of gas sensors for monitoring table grape cold-chain logistics [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(1):240 - 246. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20160132&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.01.032. (in Chinese)
- [67] 张虎,张小栓,孙格格,等. 面向冷链物流农产品品质感知的 TTI 动态校准方法 [J/OL]. 农业机械学报,2017,48(2): 314 - 321.
ZHANG Hu, ZHANG Xiaoshuan, SUN Gege, et al. Dynamic calibration method for time temperature indicator towards quality of agricultural produce under cold chain [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(2):314 - 321. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170242&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.02.042. (in Chinese)
- [68] 张永军,张小栓,张长峰,等. 面向农产品冷链物流监测的无线气体传感器在线校准方法[J/OL]. 农业机械学报, 2016,47(10): 309 - 317.
ZHANG Yongjun, ZHANG Xiaoshuan, ZHANG Changfeng, et al. Wireless gas sensor on-line calibration method for cold chain logistics monitoring of agricultural products [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(10): 309 - 317. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20161039&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.10.039. (in Chinese)
- [69] VERGARA A, VEMBU S, AYHAN T, et al. Chemical gas sensor drift compensation using classifier ensembles [J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2012, 166 (9): 320 - 329.
- [70] SOUZA A M C, AMAZONAS J R A. An outlier detect algorithm using big data processing and Internet of Things architecture

- [J]. *Procedia Computer Science*, 2015,52: 1010 – 1015.
- [71] CAUTERUCCIO F, FORTINO G, GUERRIERI A, et al. Short-long term anomaly detection in wireless sensor networks based on machine learning and multi-parameterized edit distance [J]. *Information Fusion*, 2019,52: 13 – 30.
- [72] SCULLY-ALLISON C, LE V, FRITZINGER E, et al. Near real-time autonomous quality control for streaming environmental sensor data [J]. *Procedia Computer Science*, 2018,126: 1656 – 1665.
- [73] GIATRAKOS N, DELIGIANNAKIS A, GAROFALAKIS M, et al. Omnibus outlier detection in sensor networks using windowed locality sensitive hashing [J]. *Future Generation Computer Systems*, 2018,4: 1 – 23.
- [74] KANARACHOS S, CHRISTOPOULOS S, CHRONEOS A, et al. Detecting anomalies in time series data via a deep learning algorithm combining wavelets, neural networks and Hilbert transform [J]. *Expert Systems with Applications*, 2017,85: 292 – 304.
- [75] 李志刚,刘丹丹,张小栓. 基于分簇数据融合的农产品冷链温度监控方法[J/OL]. *农业机械学报*,2017,48(8): 302 – 308.
- LI Zhiang, LIU Dandan, ZHANG Xiaoshuan. Cold chain temperature monitoring method of agricultural products based on clustered data fusion [J/OL]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017,48(8): 302 – 308. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170835&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.08.035. (in Chinese)
- [76] SUNG W T, CHIANG Y C. Improved particle swarm optimization algorithm for android medical care IoT using modified parameters [J]. *Journal of Medical Systems*, 2012, 36(6): 3755 – 3763.
- [77] MA J, SHENG Q Z, XIE D, et al. Efficiently managing uncertain data in RFID sensor networks [J]. *World Wide Web*, 2015,18(4): 819 – 844.
- [78] GILL S, LEE B. A framework for distributed cleaning of data streams [J]. *Procedia Computer Science*, 2015,52: 1186 – 1191.
- [79] LEI J, BI H, XIA Y, et al. An in-network data cleaning approach for wireless sensor networks [J]. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 2016,22(4):599 – 604.
- [80] DE FARIAS C M, PIRMEZ L, FORTINO G, et al. A multi-sensor data fusion technique using data correlations among multiple applications [J]. *Future Generation Computer Systems*, 2019,92: 109 – 118.
- [81] UTHAYAKUMAR J, VENGATTARAMAN T, DHAVACHELVAN P. A survey on data compression techniques: from the perspective of data quality, coding schemes, data type and applications[J/OL]. *Journal of King Saud University Computer and Information Sciences*, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2018.05.006>.
- [82] KANG Y, JIN H, RYOU O, et al. A simulation approach for optimal design of RFID sensor tag-based cold chain systems [J]. *Journal of Food Engineering*, 2012,113(1):1 – 10.
- [83] TOWNSEND M, LE QUOC T, KAPOOR G, et al. Real-time business data acquisition: how frequent is frequent enough? [J]. *Information & Management*, 2018,55(4): 422 – 429.
- [84] 董海俊, 韦素媛, 刘兴成, 等. 面向环境感知的无线传感网络路由方法综述[J]. *计算机科学*, 2018, 45(1): 14 – 23.
- DONG Haijun, WEI Suyuan, LIU Xingcheng, et al. Review of wireless sensor network routing method for environment perception[J]. *Computer Science*, 2018, 45(1): 14 – 23. (in Chinese)
- [85] MARJANOVIC M, SKORIN-KAPOV L, PRIPUZIC K, et al. Energy-aware and quality-driven sensor management for green mobile crowd sensing [J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2016,59: 95 – 108.
- [86] VASCONCELOS I L C, MARTINS I C, FIGUEIREDO C M S, et al. A data sample algorithm applied to wireless sensor network with disruptive connections [J]. *Computer Networks*, 2018,146: 1 – 11.
- [87] LIONO J, JAYARAMAN P P, QIN A K, et al. QDaS: quality driven data summarization for effective storage management in Internet of Things [J]. *Journal of Parallel Distributed Computing*, 2018,3:1 – 13.
- [88] GHALEM S K, KECHAAR B, BOUNCEUR A, et al. A probabilistic multivariate copula-based technique for faulty node diagnosis in wireless sensor networks [J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2019,127: 9 – 25.
- [89] TU Y, ZHOU W, PIRAMUTHU S. A novel means to address RFID tag/item separation in supply chains [J]. *Decision Support Systems*, 2018,115: 13 – 23.
- [90] ERGULER I. A potential weakness in RFID-based Internet-of-things systems [J]. *Pervasive and Mobile Computing*, 2015, 20: 115 – 126.
- [91] YUE Y, HE P. A comprehensive survey on the reliability of mobile wireless sensor networks: taxonomy, challenges, and future directions [J]. *Information Fusion*, 2018,44: 188 – 204.
- [92] BADIA-MELIS R, MC CARTHY U, UYSAL I. Data estimation methods for predicting temperatures of fruit in refrigerated conditions [J]. *Biosystems Engineering*, 2016,151: 261 – 272.
- [93] WANG X, MATETIC M, ZHOU H, et al. Postharvest quality monitoring and variance analysis of peach and nectarine cold chain with multi-sensors technology[J]. *Applied Science*, 2017, 7(2): 133.
- [94] WANG X, FU D, FRUK G, et al. Improving quality control and transparency in honey peach export chain by a multi-sensors-managed traceability system [J]. *Food Control*, 2018,88: 169 – 180.
- [95] FENG H, CHEN J, ZHOU W, et al. Modeling and evaluation on WSN-enabled and knowledge-based HACCP quality control for frozen shellfish cold chain [J]. *Food Control*, 2019,98: 348 – 358.
- [96] HSIAO H I, HUANG K L. Time-temperature transparency in the cold chain [J]. *Food Control*, 2016,64: 181 – 188.
- [97] TREBAR M, LOTRIĆ M, FONDA I. Use of RFID temperature monitoring to test and improve fish packing methods in Styrofoam boxes [J]. *Journal of Food Engineering*, 2015,159: 66 – 75.
- [98] XIAO X, WANG X, ZHANG X, et al. Effect of the quality property of table grapes in cold chain logistics-integrated WSN and AOW [J]. *Applied Sciences*, 2015, 5(4): 747 – 760.
- [99] JEDERMANN R, RUIZ-GARCIA L, LANG W. Spatial temperature profiling by semi-passive RFID loggers for perishable food transportation[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2009,65: 145 – 154.
- [100] 刘静,张小栓,肖新清,等. 基于多目标决策模糊物元法的冷藏车传感布点优化[J/OL]. *农业机械学报*,2014,45(10):

214–219.

LIU Jing, ZHANG Xiaoshuan, XIAO Xinqing, et al. Optimal sensor layout in refrigerator car based on multi-objective fuzzy matter element method[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(10): 214–219. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20141033&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.10.033. (in Chinese)

- [101] THAKUR M, FORAS E. EPCIS based online temperature monitoring and traceability in a cold meat chain [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2015, 117: 22–30.
- [102] TSIRONI T, DERMESONLOUGLOU E, GIANNOGLOU M, et al. Shelf-life prediction models for ready-to-eat fresh cut salads: testing in real cold chain [J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 240: 131–140.
- [103] 刘雪, 李亚妹, 刘娇, 等. 基于BP神经网络的鲜食鸡蛋货架期预测模型[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(10): 328–334. LIU Xue, LI Yamei, LIU Jiao, et al. BP neural network based prediction model for fresh egg's shelf life [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(10): 328–334. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20151044&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.10.044. (in Chinese)
- [104] GORANSSON M, JEVINGER A, NILSSON J. Shelf-life variations in pallet unit loads during perishable food supply chain distribution [J]. Food Control, 2018, 84: 552–560.
- [105] GORANSSON M, NILSSON F, JEVINGER A. Temperature performance and food shelf-life accuracy in cold food supply chains-Insights from multiple field studies [J]. Food Control, 2018, 86: 332–341.
- [106] 陈晓宇, 朱志强, 张小栓, 等. 食品货架期预测研究进展与趋势[J/OL]. 农业机械学报, 2015, 46(8): 192–199. CHEN Xiaoyu, ZHU Zhiqiang, ZHANG Xiaoshuan, et al. Research progress and trend of food shelf life prediction[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(8): 192–199. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20150826&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2015.08.026. (in Chinese)
- [107] 邢少华, 张小栓, 马常阳, 等. 波动温度下罗非鱼微生物生长动力学模型[J/OL]. 农业机械学报, 2013, 44(7): 194–198. XING Shaohua, ZHANG Xiaoshuan, MA Changyang, et al. Microbial growth kinetics model of tilapia under variable temperatures [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(7): 194–198. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20130734&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.07.034. (in Chinese)
- [108] DERMESONLOUGLOU E, KATSAROS G, TSEVDOU M, et al. Kinetic study of quality indices and shelf life modelling of frozen spinach under dynamic conditions of the cold chains[J]. Journal of Food Engineering, 2015, 148: 13–23.
- [109] 傅泽田, 高乾钟, 李新武, 等. 基于气体传感信息的蓝莓贮藏货架期预测方法[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(8): 308–315. FU Zetian, GAO Qianzhong, LI Xinwu, et al. Blueberry shelf life prediction method based on sensor information stored gas [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(8): 308–315. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20180836&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.08.036. (in Chinese)
- [110] LA SCALIA G, NASCA A, CORONA O, et al. An innovative shelf life model based on smart logistic unit for an efficient management of the perishable food supply chain[J]. Journal of Food Process Engineering, 2015, 40(1): e12311.
- [111] RUAN J, SHI Y. Monitoring and assessing fruit freshness in IoT-based e-commerce delivery using scenario analysis and interval number approaches [J]. Information Sciences, 2016, 373: 557–570.
- [112] MACHEKA L, SPELT E, VAN DER VORST J G A J, et al. Exploration of logistics and quality control activities in view of context characteristics and postharvest losses in fresh produce chains: a case study for tomatoes [J]. Food Control, 2017, 77: 221–234.
- [113] PARK M, SANGWANANGKUL P, CHOI J. Reduced chilling injury and delayed fruit ripening in tomatoes with modified atmosphere and humidity packaging [J]. Scientia Horticulturae, 2018, 231: 66–72.
- [114] OLIVEIRA R R, CARDOSO I M G, BARBOSA J L V, et al. An intelligent model for logistics management based on geofencing algorithms and RFID technology [J]. Expert Systems with Applications, 2015, 42: 6082–6097.
- [115] TSANG Y P, CHOY K L, WU C H, et al. An intelligent model for assuring food quality in managing a multi-temperature food distribution centre [J]. Food Control, 2018, 90: 81–97.
- [116] HERBON A, CEDER A. Monitoring perishable inventory using quality status and predicting automatic devices under various stochastic environmental scenarios[J]. Journal of Food Engineering, 2018, 223: 236–247.
- [117] LÜTJEN M, DITTMER P, VEIGT M. Quality driven distribution of intelligent containers in cold chain logistics networks [J]. Production Engineering, 2013, 7(2–3): 291–297.
- [118] QI L, XU M, FU Z, et al. C2SLDS: a WSN-based perishable food shelf-life prediction and LIFO strategy decision support system in cold chain logistics [J]. Food Control, 2014, 38: 19–29.
- [119] GOGOU E, KATSAROS G, DERENS E, et al. Cold chain database development and application as a tool for the cold chain management and food quality evaluation [J]. International Journal of Refrigeration, 2015, 52: 109–121.
- [120] WANG J, YUE H. Food safety pre-warning system based on data mining for a sustainable food supply chain [J]. Food Control, 2017, 73: 223–229.
- [121] ER KARA M, OKTAY FIRAT S Ü, GHADGE A. A data mining-based framework for supply chain risk management [J/OL]. Computer & Industrial Engineering, 2018. DOI:10.1016/j.cie.2018.12.011.