

“区块链+物联网”技术在食品供应链中的应用研究

谢会芹 王雨迎 刘萌萌 王乐

河北科技师范学院 河北秦皇岛 066000

DOI:10.12238/ems.v7i12.16473

[摘要] 在全球化和数字化高度融合的大环境下,食品供应链的安全性以及透明度成为了公众关注的热点话题。但是传统食品供应链一直受到信息孤岛现象严重、数据真实度不高、追溯速度缓慢等问题的影响,导致食品安全事故不断发生且无法得到有效的追责处理。为了应对这种困境,论文以京东生鲜“跑步鸡”项目为例分析了“区块链+物联网”技术在食品供应链各环节的应用,为食品供应链数字化转型提供理论依据和实践指导。

[关键词] 食品供应链;物联网;区块链;物流配送

引言

近年来,食品安全问题频发,商家违规使用添加剂、使用变质食材、生产环节卫生不到位,且出现例如疯牛病、瘦肉精等事件,引起了消费者对食品安全重要性的广泛关注。传统食品供应链涉及原材料采购、生产、加工、运输、销售众多环节,参与主体较多,一旦出现食品安全问题,很难快速有效地追溯问题根源,为食品安全管理带来很大困难。

1 食品供应链现状

食品供应链现状方面,国内学者从不同层面探究改善途径,潘琳等人剖析了生鲜食品供应商和零售商的价格折让策略^[1]。杨美玲等人搭建起食品供应链共享平台并保证供应的稳定^[2]。国外学者则针对供应链的协作、行业特性展开探讨^[3]。

1.1 拥有完整链条

食品供应链涉及采购、生产、仓储、运输、终端销售各环节。现如今大部分企业通过ERP系统进行各部门之间的合作,形成了一个完整的、成熟的供应链。

在ERP系统里,采购商先考察供应商的资质、信誉以及供货能力,从中挑选出长期稳定的合作对象。达成合作之后,采购商拟定采购计划,通过系统向供应商发出订单。生产部门就会依照采购计划和市场需求,借助ERP系统来制订生产计划。生产完成之后货物入库时,仓库管理人员通过ERP系统记录货物信息,并自动分配一个库位。货物出库后,ERP系统会依照订单的紧急程度以及送达地点,选出最快的运输路径和适合的车辆,并实时追踪,从而做到快速、准确地配送货物,削减配送成本。终端销售时,ERP系统会根据终端销售数据,剖析销售走向、客户购买喜好,及时调整销售策略,从而更好地明白并满足客户需求。经过这些节点流程,供应链上的各个环节就能做到无缝衔接。

1.2 链条存在挑战

供应链体系内上下游节点企业众多,市场需求信息从供应链下游向上游逐层传递时会产生牛鞭效应,需求变异及信

息扭曲现象,导致上游终端节点企业难以获取真实市场反馈,从而引发供应链风险。当今信息化发展迅速,数据实时共享以及节点需求同步并不难做到,但各节点企业之间缺少强有力的约束机制,信息的不对称与滞后便滋生了供应链信息风险。

1.3 发展趋势积极向好

随着人们生活水平的提高以及消费理念的不断改变,消费者对食品的需求日趋多样化、个性化,促使食品供应链向定制化的方向发展。这一发展则推动食品供应链各环节间加强合作,企业要根据不同市场以及不同的消费者偏好去开发出相对应的产品,满足消费者对食品的个性化需求,带动食品行业的创新发展。

2 “区块链+物联网”技术在食品供应链各环节的应用分析

随着人民生活品质逐渐提升,食品安全问题成为大众所关注话题,但传统食品供应链一直有着信息不透明、难追查、缺乏信任这类问题,严重影响消费者健康而且妨碍食品行业可持续发展。

京东生鲜推出的“跑步鸡”项目就是“区块链+物联网”技术深度融入食品供应链的典型实例,该项目为每只鸡赋予专属“身份证”,对“跑步鸡”进行160天的数字化养殖,并对整个养殖周期进行动态监测,严格执行“跑步鸡”需“跑够100万步”的硬标准,进而做到从养殖到销售的全过程信息上链,增强食品供应链的透明度和可信度。

2.1 养殖环节

2.1.1 个体身份数字化

在养殖环节,每只跑步鸡脚上都会佩戴智能脚环,这个智能脚环相当于鸡的“数字身份证”,集成RFID芯片、传感器和唯一的编码,在区块链上生成不可修改的数字身份ID,与鸡产生“一鸡一码”强关联。

每只鸡的初始数据经采集后,养殖人员进行私钥签名,其他节点通过公钥验证数据无误后,便可上链至区块链分布

式账本,为每只鸡创建动态成长档案,并且不可篡改,使初始数据真实可靠。此外工作人员日常记录的鸡的运动、喂水、喂食、防疫、清扫及检查等数据也一并通过拍照等形式记录在区块链上。而这些数据最后都会提供给消费者,给予消费者细致、安心的消费体验。

2.1.2 养殖环境数据采集与调控

在京东生鲜部署的养殖场里,各种高精度的传感器各司其职。温湿度传感器能够感知鸡舍内温湿度的微小变化,给鸡只创造一个合适的温湿度环境。空气传感器实时监测空气质量,如果有害气体浓度出现异常情况,系统会立马发出警报。

这些养殖环境里的原始数据经采集后,在储存时,服务器先对这些数据进行哈希运算,生成一个独一无二的哈希值。最后把哈希值,采集时间,设备编号,地理位置等信息打包起来,由养殖企业,加工商等组成的联盟链网络,共同验证这些数据。数据验证没问题后便被写进区块链。这样数据从采集到存储的全过程都不能被改变,保证了数据真实可靠。

“区块链+物联网”技术协同使用,给予了“跑步鸡”项目安全可靠的健康管理工具,达成鸡群生长的精细把控,而且形成了从进栏到出栏的质量责任体系。这个体系为之后的加工、配送环节的追溯管理奠定数据根基,促使整个食品供应链透明可靠。

2.2 加工环节

2.2.1 数据与鸡只的双重把控

在跑步鸡加工前,通过智能脚环采集的个体数据上传到区块链后,区块链智能合约会将数据自动同步给加工系统。待鸡只到达加工厂后,传送带的RFID读写器就能识别脚环芯片里的信息,实时调取养殖阶段的运动数据,健康检测成果,只有符合出栏标准的鸡只数据,才能由区块链分布式账本授权,进入加工流程。

加工时,加工厂入口的多光谱检测仪首先对活鸡体表开展寄生虫、外伤等可视化检测,检测数据通过物联网网络即时上传加工管理平台,再与养殖环节上链的健康档案执行对比,一旦某批次鸡不符合加工要求,区块链智能合约就会冻结该批次产品,然后追溯养殖环节的驱虫情况,从而智能拦截不合格的鸡只。在此阶段,物联网承担前端检测任务,区块链保证数据无法被篡改,二者联手保障“跑步鸡”进入加工环节的合规性。

2.2.2 加工过程的数字化管理

确保了鸡只的合规与健康后,鸡只将进入屠宰阶段。屠宰车间部署的温湿度传感器、紫外线强度传感器等负责采集环境数据,并由物联网网关上传至区块链,成为不可篡改的环境日志。当湿度超标,物联网系统报警,区块链智能合约

自动暂停屠宰线,避免微生物滋生。每只鸡在屠宰前,脚环编码与屠宰设备编号关联,并记录下屠宰时间和操作人工号,形成“鸡只ID-设备ID-操作时间”数据链,由区块链加密存证,达成“物-机-人”屠宰环节的全链数字关联。

各传感器设备中采集到的数据都会上传到区块链平台,便于当出现质量问题时进行溯源。每个包装袋上都会配备一个二维码,里面包含对应鸡只的脚环信息、养殖环节防疫记录、加工批次号,加工设备人员、包装人员等信息数据。

2.3 物流配送环节

2.3.1 数据衔接与资源调配

“跑步鸡”被加工包装好之后,加工环节的所有数据都会通过区块链智能合约自动同步到配送系统里。配送前,京东生鲜的智能调度系统依靠区块链上储存的订单数据,同时结合配送车辆位置,装载容量等信息,利用算法自动规划出最佳的配送路线。装车前,物联网传感器对配送车辆的冷藏设备做全面检测。温度传感器负责检测车厢内初始温度是否达标,湿度传感器检测空气湿度,制冷设备状态传感器检查压缩机工作情况等。

这些检测数据实时传到区块链,形成设备预检记录。如果某辆车的冷藏设备温度不合格,区块链智能合约就会自动阻止这辆车参与这次配送任务,还会通知维修人员去检修,并在系统里标注这辆车的冷藏设备故障信息。只有当所有的检测数据都合格并且上链存证以后,这辆车才被允许运输“跑步鸡”产品。

2.3.2 运输途中的实时追踪与智能调控

在运输过程中,冷藏车里部署的温湿度传感器实时采集监测车厢内的温度和湿度,一旦温度或湿度数据出现异常情况,传感器就会立刻把异常信息传给区块链。区块链上的智能合约接到这些数据之后,会自动把警报发到司机的终端以及京东生鲜的监控中心,提醒他们去做一些处理,如查看制冷设备,调节通风口等。而且异常的数据也会被详细地记录在区块链上,包括异常出现的具体时间,当时的温度湿度数值,车辆编号等。

物联网定位设备会实时获取车辆地理位置信息,并上传到区块链上,供消费者、商家和京东生鲜的管理人员实时查看位置及预计到达时间。同时车辆上的其他传感器也会监测车辆行驶速度、急刹车次数、震动情况等运输状态数据,这些数据同样会上链存证。当车辆行驶速度过慢或者频繁急刹车等情况发生时,系统就会自动分析是否存在运输风险并推送至相关负责人。“区块链+物联网”的应用让运输过程实现全程透明化,提升各方对配送状态的掌控能力。

2.4 销售环节

京东生鲜建立了完备的产品溯源系统,消费者购买跑步

鸡产品时, 只需扫描产品包装上的二维码, 便能通过区块链技术获得产品全过程信息。该系统把养殖、加工、运输等环节的数据加以整合, 然后用清晰、易懂的界面展现出来, 包含鸡的品种、养殖环境、运动数据、加工流程、运输路线以及检验检疫报告等诸多详细信息, 方便消费者全方位地知晓产品情况。

3. “区块链+物联网”技术在食品供应链中应用的不足

3.1 技术实现难度大

在技术方面, “区块链+物联网”技术的应用对企业技术储备和资金投入提出严苛要求。当前中小型食品供应链企业掌握了食品供应链业务逻辑, 但普遍缺乏驾驭区块链底层开发与物联网设备部署的复合型团队。如在不同环节均需采集数据并上传至区块链, 需要持续的算法优化来执行, 对于大多数中小型食品供应链企业, 仅技术层面的难度就让其望而却步。

在人才方面, 据智联招聘 2024 年数据, “区块链+物联网”岗位的供需比为 1: 3, 此类型技术员十分紧缺。且最接近基层操作的农户、物流车司机对于新智能设备的使用存在畏难心理, 需要较长时间去培训基层工作人员向数字化操作习惯转型。

在成本上, 技术融合的成本压力成为中小企业数字化转型的首要阻碍。中小企业前期硬件主要是物联网设备和区块链节点服务器, 投入成本金额巨大。

3.2 大规模数据处理复杂

据统计, 一中小型食品供应链企业在全环节部署约 100 个物联网传感器, 按每分钟采集 1 次数据计算, 日均产生 14.4 万条数据, 年数据量达 5256 万条。且随着企业的发展, 面临规模扩大、基地扩建、传感器设备激增等现象, 数据量将突破 1 亿条/年, 存储成本压力翻倍。

数据处理时, 首先采集中, 各环节中各种传感器、摄像头设备来自不同厂家, 在存储过程中存在格式不统一的问题, 企业需耗费额外成本统一数据格式, 实现数据的储存与共享。其次在数据分析中, 这些采集的数据有数字、文字、还有视频图像, 要把它们整合起来分析很麻烦。

3.3 企业信息隐私保护存在漏洞

对一些食品企业而言, 生产配方是它的核心竞争力的关键, 一旦配方信息在信息共享的时候不小心泄露出去, 给原企业造成的损失是极大的, 甚至会严重动摇企业的存亡根基。销售渠道信息也是同等重要的存在, 有些食品企业会跟特定的经销商达成长期稳定的伙伴关系, 如果销售信息泄露, 竞争对手很可能会想尽办法来破坏企业的销售网络, 让企业的销售渠道受阻, 业绩下滑。

虽然“区块链+物联网”技术在创建食品供应链信息溯源

体系的时候, 凭借区块链技术的加密机制以及去中心化特性, 给数据安全给予了一定的保障。不过, 伴随着科技极速发展, 黑客攻击手段持续更新换代, 信息泄露的风险一直存在。一旦数据泄露, 就会给整个食品供应链上的企业带来严重的冲击, 引发信任危机, 破坏供应链的正常运转。

3.4 监管制度不完善

当下食品供应链里“区块链+物联网”技术应用碰到的首要问题, 就是现存法律体系对链上数据的效力判定不清。《食品安全法》规定企业要留存纸质检验报告, 却没对区块链存证的电子数据作具体要求, 造成山东某个冷链企业在接受监管检查的时候, 因为只出示链上的温湿度记录就被要求补交纸质文档, 管理成本上升 25%, 使企业和监管部门陷入“企业技术合规但监管制度不合规”的执行窘境, 从而降低了企业应用技术的热情。

同时, 监管部门缺少配套技术的监管工具, 监管时会出现“企业上链数据是否真实”的盲区。技术革新和监管能力不对等, 一些企业便会利用制度缺口推脱责任, 造成监管空白。

4. 改善“区块链+物联网”技术在食品供应链中应用的举措

4.1 构建统一的“区块链+物联网”技术集成平台

首先在平台中, 食品供应链从生产到销售各节点企业都可参与其中, 如图 1 所示。为解决企业技术应用能力问题, 平台支持温湿度传感器、RFID 标签等物联网设备直接接入, 无需企业单独开发接口, 区块链技术中采用核心数据上链模式, 为企业提供区块链框架的“一键部署”模板, 使企业无需掌握区块链底层开发技术。以生猪养殖环节的小型养殖场为例, 接入“区块链+物联网”集成平台后, 企业无需专业技术团队即可快速完成设备部署。平台自动适配传感器设备协议, 实时采集生猪健康与养殖环境数据, 农户通过微信小程序简单操作即可自动生成猪的“数字档案”并加密上链, 告别传统人工纸质记录的繁琐与误差。

4.2 科学处理数据

面临日均产生的高额数据, 可以将数据分为关键数据和普通数据存储。关键数据如环节中温湿度超标记录, 加密存到安全链上。普通数据按使用频率分级管理, 高频使用的实时监控数据存储于高性能数据库, 低频使用的历史数据归档至低成本存储系统, 既保障数据查询效率, 又显著降低存储成本, 从容应对企业规模扩大带来的亿级数据量增长压力。

针对食品供应链中生产、加工、运输各环节设备杂、数据乱的问题, 通过部署多协议数据接入系统, 自动整合不同厂家传感器、摄像头的的数据。同时如果想分析“运输中温度变化怎么影响产品质量”这类问题。比如某批蔬菜在哪段路

温度超标、最终损耗率是否升高，通过转换后的标准格式，输入想搜查的环节、产品批次，就能看到指定环节的相关数

据。中小企业不用培养专业技术团队，也能快速找到损耗高、效率低的原因，合理应用数据。



图1 “区块链+物联网”技术集成平台

4.3 加强信息保护

食品供应链中，生产配方、销售渠道信息是企业的重要资产，加强这类敏感信息保护要结合供应链各环节特性。生产配方可拆解成原料配比、加工参数等若干独立部分，加密后再存入研发、生产、品控等环节的区块链节点里，保证合作方只能拿到自己业务所需的部分。像代工厂只能看到加工步骤，看不到完整的原料配方，防止节点泄密造成核心技术外流。销售信息方面，向上下游共享数据时隐去经销商名字、客户联系方式等具体信息，只留订单量、配送区域之类的内容。

在应对突发状况时，如发生数据泄露问题，企业可利用区块链的不可篡改的运输记录和访问记录，迅速锁定异常环节和人员，同时向下游经销商发出预警，将数据泄露损失控制在运输环节以内，而不是扩散到生产、销售等上下游环节，保证食品安全网络的安全稳定。

4.4 完善监管体系

制度完善上，要加快《食品安全法》等修订进程，让区块链存证的电子数据和纸质文件有相同法律效力。行业协会需带头出台《食品供应链区块链数据管理规范》，统一数据采集频次、存储格式和加密标准。

在监管工具的升级上，监管部门需接入食品供应链区块链网络，实时抓取链上数据，通过智能合约识别异常，缩短问题解决时间。山东“食链网”项目中，监管部门作为“超

级节点”接入企业联盟链，实时抓取养殖环节疫苗接种记录、加工环节微生物检测等数据。给冷链车温湿度传感器、养殖场摄像头等物联网设备植入“监管认证芯片”，要求设备数据须经过监管部门数字签名后才可上链，防止企业伪造原始数据。

[参考文献]

[1]潘琳，徐夏静，周荣庭. 博弈视角下社区生鲜食品供应链双渠道动态定价研究[J]. 中国管理科学, 2024, 32(07): 300-310.

[2]杨美玲，谢一. 加强食品供应链共享平台建设畅通食品流通“微循环”[J]. 中国农垦, 2024, (05): 57-58.

[3]Pourmohammad-Zia N, Karimi B, Rezaei J. Food supply chain coordination for growing items: A trade-off between market coverage and cost-efficiency[J]. International Journal of Production Economics, 2021, 242: 108289.

项目支持：河北省社会科学发展研究课题（20230302009），秦皇岛市社会科学发展研究课题（2025LX090）。

作者简介：一作姓名：谢会芹，女，籍贯：山东定陶，汉族，出生年月：1984.07，学位：硕士研究生，职称：副教授，研究方向：主要从事产业经济、物流与供应链管理及教育教学方法论研究。