

基于物联网和大数据的农产品全程冷链物流管理系统设计

黄莉^{1,2}, 陈志松^{2,3}, 徐凤凰^{2,4}, 张晨宇^{2,4}, 王伟^{2,4}

¹河海大学公共管理学院, 江苏 南京

²南通河海大学海洋与近海工程研究院, 江苏 南通

³南京师范大学商学院, 江苏 南京

⁴河海大学港口海岸与近海工程学院, 江苏 南京

收稿日期: 2023年3月29日; 录用日期: 2023年6月12日; 发布日期: 2023年6月28日

摘要

为实现农产品冷链物流的质量控制、物流信息透明化、监控预警、企业决策、产品溯源等要求。针对农产品保质期短、易损易腐等特点, 本文构建了一种农产品全程冷链物流的管理系统, 将物联网、大数据等技术结合构成系统的5层架构, 即感知层、数据层、服务层、应用层、用户层。在感知层通过物联网技术将农产品冷链物流各个环节的信息进行实时采集和共享, 通过有线或无线通信技术将感知层收集到的数据传输至数据层, 利用服务层的大数据、区块链和决策支持等技术对信息进行处理、储存、传递和加密, 利用应用层为平台的可视化功能提供相应的信息资源支撑, 最终为用户层面向的用户实时查询全程冷链物流各个环节的可视化信息提供保障。

关键词

农产品, 冷链物流, 物联网, 大数据, 管理系统

Design of Agricultural Products' Whole Process Cold Chain Logistics Management System Based on Internet of Things and Big Data

Li Huang^{1,2}, Zhisong Chen^{2,3}, Fenghuang Xu^{2,4}, Chenyu Zhang^{2,4}, Wei Wang^{2,4}

¹School of Public Administration, Hohai University, Nanjing Jiangsu

²Nantong Ocean and Coastal Engineering Research Institute of Hohai University, Nantong Jiangsu

³Business School of Nanjing Normal University, Nanjing Jiangsu

文章引用: 黄莉, 陈志松, 徐凤凰, 张晨宇, 王伟. 基于物联网和大数据的农产品全程冷链物流管理系统设计[J]. 软件工程与应用, 2023, 12(3): 506-515. DOI: 10.12677/sea.2023.123050

⁴College of Harbour, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing Jiangsu

Received: Mar. 29th, 2023; accepted: Jun. 12th, 2023; published: Jun. 28th, 2023

Abstract

In order to achieve the requirements of quality control, transparency of logistics information, monitoring and early warning, enterprise decision-making, and product traceability of agricultural cold chain logistics. Aiming at the characteristics of agricultural products such as short shelf life, vulnerability to damage and decay, this paper constructs a management system for the entire process of cold chain logistics of agricultural products, which combines technologies such as the Internet of Things and big data to form a 5-tier architecture of the system, namely, the perception layer, data layer, service layer, application layer, and user layer. At the perception layer, information from various aspects of agricultural cold chain logistics is collected and shared in real time through Internet of Things technology. Data collected at the perception layer is transmitted to the data layer through wired or wireless communication technology. Information is processed, stored, transmitted, and encrypted using technologies such as big data, blockchain, and decision support at the service layer. The application layer is used to provide corresponding information resource support for the visualization function of the platform. Ultimately, it provides a guarantee for users at the user level to real-time query the visual information of all aspects of the entire cold chain logistics.

Keywords

Agriculture Products, Cold Chain Logistics, Internet of Things, Big Data, Management System

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着经济的发展和水平的提高,能够满足人们日益增长的生活需求的农产品冷链物流应运而生。由于目前农产品流通时冷链各环节缺乏衔接,冷链链条中农产品的实时状态信息没有得到及时的采集、监测和传输,难以形成系统化的连贯作业,冷链物流中大部分农产品的损耗较为严重。据统计,我国 2019 年农产品的总量为 19.8 亿吨,生鲜农产品超过 11 亿吨。由于信息的不对等,许多农产品没有相应的售卖不及时超过生鲜农产品总产量的 20%,直接损失约 3000 亿元。

我国冷链物流近几年发展迅速,但是相比于发达国家才刚刚起步,目前许多欧美发达国家早已形成农产品从生产至销售的整套体系,并率先物联网把系统与生鲜农产品冷链物流相结合。如加拿大、韩国的猪肉追踪系统利用物联网技术实现对于生鲜肉制品流通全过程的跟踪管理,从而实施有效的监管[1]。Liddell 等人[2]通过对比六个要的猪肉进口国的原材料获取进行追溯,来区分追溯系统对于畜禽信息的可追溯性、透明性。佟金等[3]提出并开发了基于射频识别(Radio Frequency Identification, RFID)技术的冷链物流状态和质量监控信息系统,实时监控农产品在运输过程中包括温度、货物状态图片和 UPS 定位信息、农产品状态和质量信息等。通过把各种农产品与互联网连接,构建农产品冷链物流系统,获得农产品的信息进行交换,以实现生鲜农产品从生产到销售各个环节的信息流通。

基于冷链物流系统构建的必要性,国内学者大多先通过需求分析[4][5],了解当前冷链运输存在的实际问题,分析出农产品冷链物流系统所需实现的功能和性能,分别构建了物联网系统和大数据系统。其中物联网系统的技术结构分为三层,即感知层、网络层和应用层[6][7][8],而将大数据系统的技术结构分为五层,即采集层、存储层、处理层、分析层和应用层[9][10][11],由此进一步提出农产品冷链物流体系的完善方法。物联网、大数据等关键技术系统应用现状如表1所示。

Table 1. Current application status of key technology systems such as the Internet of Things and big data
表 1. 物联网、大数据等关键技术系统应用现状

作者	参考文献	关键技术	应用领域	技术结构分层
王道康	[12]	物联网	农产品冷链仓储	感知层、网络层、应用层
陈凌栋	[13]	物联网	母乳冷链全流程闭环	基础层、应用层
吴冬燕	[14]	物联网	食品冷链安全监控	硬件层、服务层、应用层
张斐	[15]	区块链	冷链物流集装箱	数据采集层、IOT云平台、Fabric网络层、SDK服务层、应用层
田茂德	[16]	区块链	疫苗冷链物流	数据层、业务层、应用层
魏立斐	[17]	区块链、HACCP	水产品冷链质量安全溯源	物理层、网络层、存储层、服务层、功能层、应用层
左康达	[18]	大数据	农产品冷链物流	数据采集层、数据存储层、数据处理层、数据分析层、应用层
肇毓	[19]	多源异构大数据	路网运行监测预警	数据资源层、数据支撑平台、监测模块、应用层
董君成	[20]	ZigBee 无线通信	农产品冷链物流	环境层、数据层、应用层、用户层
杨长金	[21]	地理信息系统	精准扶贫动态管理	基础平台层、数据资源层、服务层、应用层、用户层

本文创新性地将物联网、大数据等技术系统结合,与既有研究进行分析总结,构建出农产品全程冷链物流管理系统更精准的5层架构,即感知层、数据层、服务层、应用层、用户层,更能实现农产品全程冷链物流环节之间的信息透明和无缝衔接,能够更好地满足用户可视化追溯的需要。

2. 农产品全程冷链物流管理系统的框架构建

2.1. 管理系统的基本构建思路

农产品全程冷链物流的物联网与大数据应用体系是指将物联网、大数据、区块链等关键技术全方位运用于农产品冷链物流全过程,实现农产品原材料获取、加工、储存、运输、销售等各环节的信息透明和无缝衔接,实现物流系统资源优化及产品质量追溯,从而降低物流成本,提高系统运行效率。

2.2. 系统功能的需求分析

通过构建农产品冷链物流管理系统,需要实现农产品全程冷链物流信息的实时监控和记录、各个环节信息的相互传递,从而保证供应链的连续,政府部门、冷链节点企业可以实时查询到农产品、物流企业的相关信息,规范冷链物流各个环节的生产行为和相关部门的监督行为,实现消费者对于农产品冷链物流全程信息掌握,保障冷链物流农产品的质量安全。

2.3. 系统结构分层及总体框架

本系统采用五层体系结构,运用物联网与大数据技术对农产品全程冷链物流相关数据进行采集、存储、传输和管理,以满足政府监管部门、冷链节点企业(生产商、加工商、储存商、物流商、零售商等)

及消费者三大应用主体的不同功能需求。

1) 感知层。感知层包括系统运行所需的硬件、网络等，是系统正常运行和使用的保障。其中，先通过RFID、温度传感器、视频监控器获取各环节基础数据，而后通过物联网网关上传至数据层中。

2) 数据层。数据层主要存储管理了平台所需的原材料获取数据库、加工数据库、储存数据库、运输数据库、销售数据库，整合各类数据构建调查指标数据库提供数据的统一管理 with 访问，是整个系统数据分析、展现的基础。

3) 服务层。在数据层基础上，服务层通过统一的服务总线，服务层提供身份认定、数据接入服务、信息资源管理服务、云计算服务、区块链服务、决策支持服务、追踪定位服务与预警服务、可视化追溯服务、外接管理服务，为应用提供服务与工具支撑。

4) 应用层。应用层设计为平台要实现的功能，以可视化为基础，系统功能的设置与实现以应用为最终目的。其中包含了农产品系统管理中心、增值服务子系统、原材料获取管理子系统、加工管理子系统、储存管理子系统、运输管理子系统、销售管理子系统。

5) 用户层。用户层主要搭建了农产品全程冷链物流管理平台，其根据平台的相关服务对象的特定需求，构建了符合不同层次用户的界面，形成桌面端和移动端应用系统。

按照以上基本架构构建农产品冷链物流系统总体框架如图1所示。

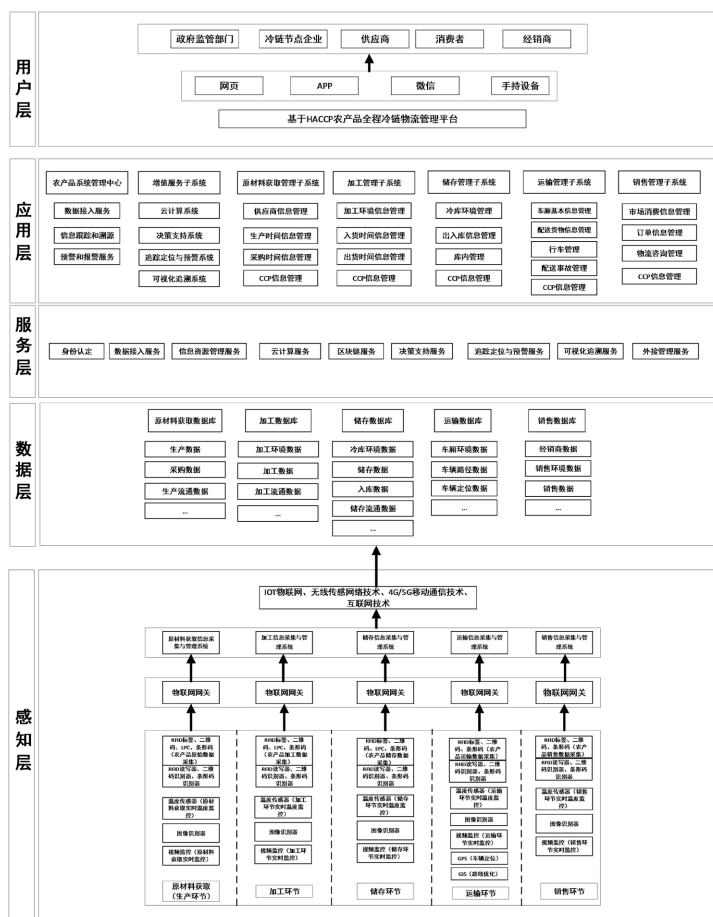


Figure 1. Overall framework diagram of the whole process cold chain logistics management system for agricultural products

图 1. 农产品全程冷链物流管理系统总体框架图

3. 农产品全程冷链物流管理系统的方案设计

3.1. 基于物联网的感知层方案设计

感知层主要包括原材料获取信息采集与管理系统、加工信息采集与管理系统、储存信息采集与管理系统、运输信息采集与管理系统、销售信息采集与管理系统。感知层是信息采集的底层基础,充分利用物联网技术(冷链识别设备、监控设备、温控设备、定位设备等),对冷链食品的相关数据上链,同时需要确保原始数据的准确与完整。

感知层主要运行内容就是将原料获取、加工、储存、运输及销售等冷链物流的各个环节串联起来,通过采用 RFID、二维码、电子产品代码(Electronic Product Code, EPC)、条形码、温度传感器、图像识别、视频监控、全球定位系统(Global Positioning System, GPS)、地理信息系统(Geographic Information System, GIS)等物联网感知技术实现对冷链物流全程关键信息的实时追踪,其原理是通过各类数据采集器,如 RFID 读写器、二维码识别器、条形码识别器、红外传感器、路由器、GPS 卫星定位、GIS 数据采集设备等对冷链物流信息进行实时采集,然后利用互联网网关设备将采集到的数据汇集至相应信息采集与管理系统,再通过无线传感网络技术、第四/五代移动通信技术(4/5th Generation Mobile Communication Technology, 5G)、互联网等将数据传输至数据层[22]。感知层关键技术原理如图 2 所示。

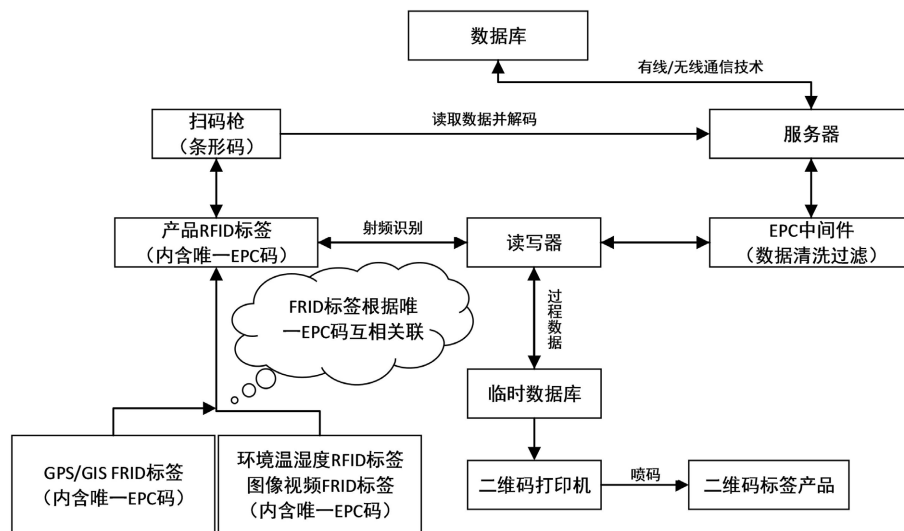


Figure 2. Schematic diagram of key technology principles at the perception layer of agricultural product cold chain logistics management system

图 2. 农产品冷链物流管理系统的感知层关键技术原理示意图

3.2. 基于大数据的数据层方案设计

数据层是在感知层基础上,通过 4G/5G 移动通信技术、互联网技术、无线传感网络技术等技术,及时准确地采集数据,为之后的服务处理提供了提供决策依据,并分不同层次需求展示出来。数据层为系统提供了包括冷库、车辆、仓储等场景下不同环境感知设备的数据接口,还将系统所获取的数据进行方向性和交互性分类,实现系统内或与第三方系统的多项对接。主要存储管理平台所需的农产品原材料获取数据、农产品加工数据、农产品仓储数据、农产品运输数据、农产品销售数据,整合各类数据构建调查指标数据库提供数据的统一管理,是整个系统数据分析、展现的基础。

农产品冷链物流系统数据库,总体分类为原材料获取数据库、加工数据库、储存数据库、加工数据

库、运输数据库、销售数据库等；包括与整个体系中所涉及的各子系统有关的原材料管理数据、加工管理数据、运输管理数据、销售管理数据等；同时利用数据接口，完成与现有平台间的数据衔接。数据层的关键架构如图 3 所示。

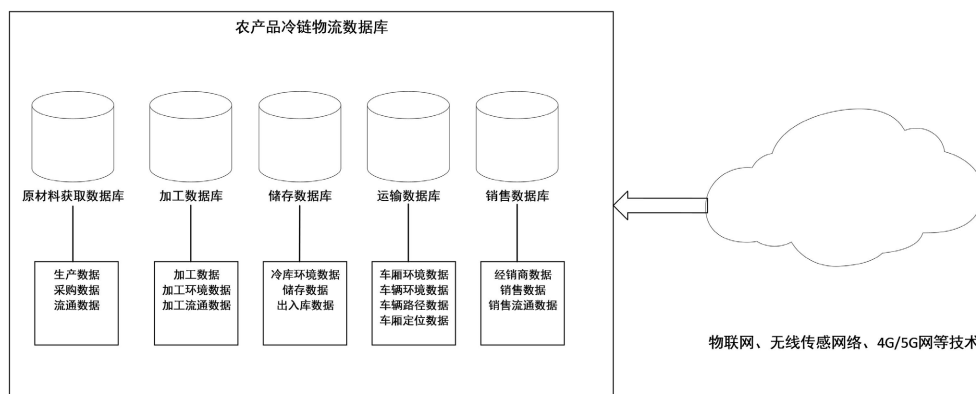


Figure 3. Schematic diagram of the key architecture of the data layer of the agricultural product cold chain logistics management system

图 3. 农产品冷链物流管理系统的数据库关键架构示意图

3.3. 基于区块链的服务层方案设计

服务层是在数据层基础上，通过统一的服务总线，为应用层提供服务与工具支撑。需要和应用层对应起来，应用层包含的内容服务层为其提供相应的技术支持。服务层提供的功能有身份认定、数据接入服务、信息资源管理服务、云计算服务、区块链服务、决策支持服务、追踪定位与预警服务、可视化追溯服务等。系统根据功能及用户角色划分多个子系统，供不同人员使用，包含各种数据处理、传输、存储、决策的服务工具，同时预留多种接口，可与各种外部接口进行对接及数据交换。服务层包含的子系统功能如图 4 所示。

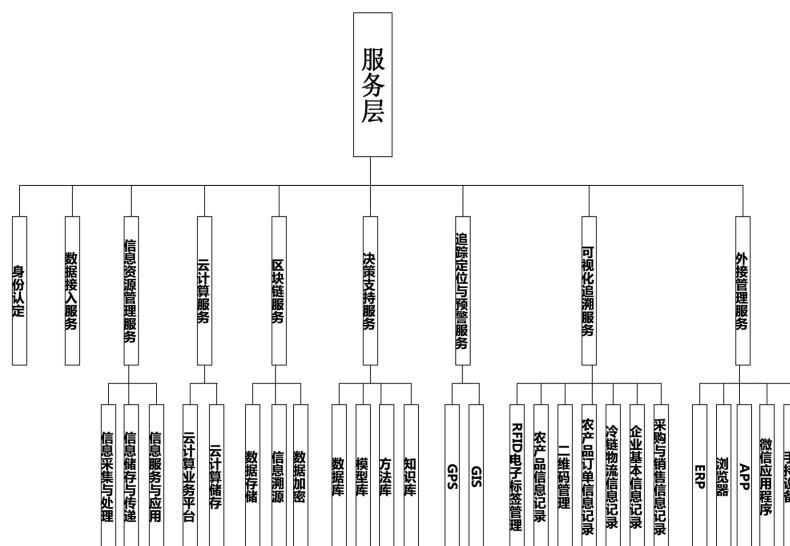


Figure 4. Functional classification diagram of service level subsystem of agricultural product cold chain logistics management system

图 4. 农产品冷链物流管理系统的服务层子系统功能分类图

3.4. 基于可视化的应用层方案设计

应用层关键技术研发以可视化为基础，对目标用户的需求进行合理的功能权限拆分，使得所有用户都能获取其需要的相关服务，进而满足农产品全程冷链物流管理系统的需求，系统功能的设置与实现以应用为最终目的。考虑到农产品冷链物流所涉及到的复杂学科背景和庞大的数据量，为了方便操作使用，功能界面的设置应清晰易操作，具备一定的通用性。

针对不同使用人群和农产品冷链物流系统服务需要，将农产品全程冷链物流管理平台分为：农产品系统管理中心、增值服务子系统、原材料获取管理子系统、加工管理子系统、储存管理子系统、运输管理子系统、销售管理子系统。各子系统之间的信息交互关系如图 5 所示。

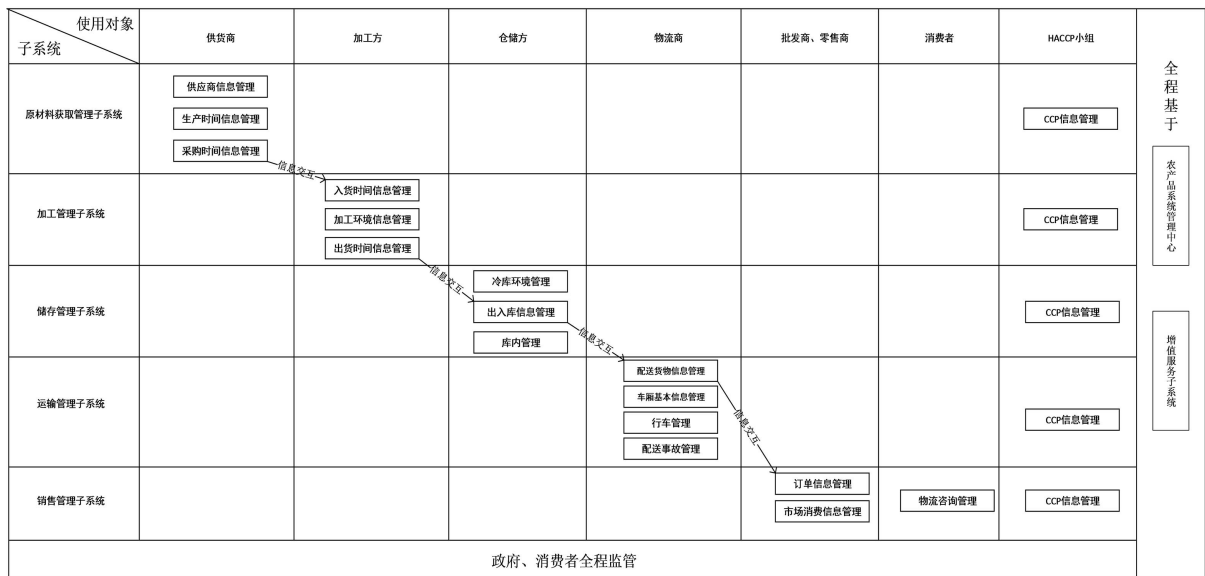


Figure 5. Functional diagram of application level subsystem of agricultural product cold chain logistics management system
图 5. 农产品冷链物流管理系统的应用层子系统功能示意图

3.5. 基于满意度的用户层方案设计

用户层主要是构建农产品全程冷链物流管理平台，服务于实际用户，因此需要满足政府、企业与消费者这三个冷链物流系统的主体需要[23]。其平台功能如图 6 所示。

4. 农产品全程冷链物流管理系统应用

农产品全程冷链物流系统主要应用于原材料获取管理子系统、加工管理子系统、储存管理子系统、运输管理子系统、销售管理子系统等。主要通过感知层的 RFID 技术，通过 RFID 标签来实现物品的唯一标识、跟踪和溯源。具体来说，RFID 标签中嵌入了芯片和天线，可以实现无线通信和数据传输。在农产品采购和运输过程中，可以在每个环节使用 RFID 阅读器和天线来读取和写入 RFID 标签中的数据，包括供应商信息、生产时间、采购时间、温度、湿度等信息。通过 RFID 技术，可以实现农产品全程的温度、湿度控制和监测，在不同环节中，可以根据需要设置相应的温度、湿度控制系统，并将控制系统的数写入 RFID 标签中。在运输过程中，可以使用 RFID 阅读器和天线来实时监测和记录货物的温度、湿度等数据，从而确保货物的质量和安全性。同时，通过 RFID 标签的唯一编码，可以实现对农产品的溯源，追踪每个环节的信息和数据，从而提高农产品的质量和安全性。以原材料获取管理子系统为例，其信息获取与传递过程如下：以原材料获取管理子系统为例，其信息获取与传递过程如图 7 所示。

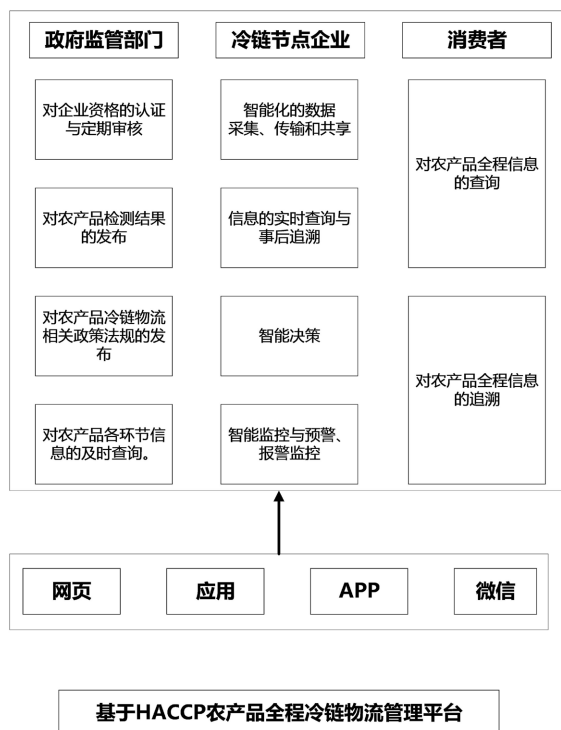


Figure 6. Functional diagram of user level sub platform
图 6. 用户层子平台功能示意图

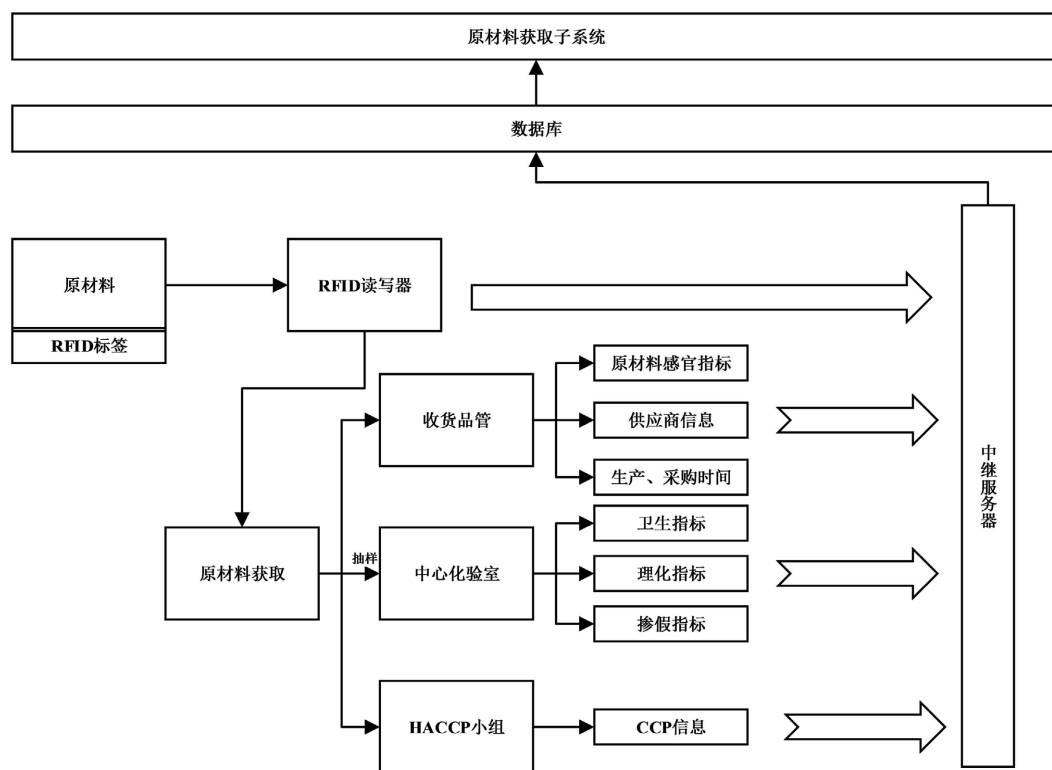


Figure 7. Raw material acquisition management subsystem
图 7. 原材料获取管理子系统

4.1. 原材料获取管理子系统

原材料获取管理子系统主要包括将 RFID 标签中嵌入供应商信息、生产时间、采购时间等数据, 供应商将带有 RFID 标签的农产品交付给农产品采购人员。采购人员使用 RFID 阅读器和天线读取标签中的数据, 并将数据传输到原材料获取管理子系统中的数据库对应的数据表中。原材料获取管理子系统中间的软件根据相应的规则将所需的数据发送到系统数据库中, 通过匹配 EPC 码来准确存储温度、湿度等控制信息。原材料获取管理子系统中用户可以通过系统界面实时查询和监测农产品的采购信息、温度、湿度等数据, 从而确保农产品的质量和安全性。

4.2. 加工管理子系统

加工管理子系统是农产品全程冷链物流系统的一个重要组成部分, 加工企业在农产品加工环节中, 通过电子标签读写器等设备, 将农产品的 RFID 标签转换成电子标签信息。同时, 对加工过程中各工序的相关信息通过网络上传到加工管理子系统, 包括入货时间、出货时间等信息, 并记录加工环境的信息, 实现农产品加工的全程记录、管理和监控。具体来说, 通过传感器采集加工环节的信息, 包括农产品原材料感官指标、加工环境信息、出入库时间信息等, 将这些信息整合至加工信息采集与管理系统中。加工管理子系统中用户可以通过系统界面实时查询和监测农产品的包括入货时间、出货时间等信息, 加工环节信息等。

4.3. 储存管理子系统

冷链物流储存管理子系统是农产品全程冷链物流系统的一个重要组成部分, 主要负责对农产品储存环节的信息进行采集、管理和监控。具体来说, 通过传感器采集储存环节的信息, 包括温度、湿度、氧气浓度、二氧化碳浓度等数据, 将这些信息整合至储存管理子系统中, 供用户层的用户实时查询。通过储存管理子系统, 可以实现对农产品储存环节的全程监控和管理, 提高农产品的品质和安全性。同时, 也可以为政府、消费者、各节点企业等提供实时查询和监控农产品全程冷链物流的服务, 保障农产品的质量和安全性。

4.4. 运输管理子系统

冷链运输最基本的要求便是保证运输过程中温度保持在货物需求的范围内, 因此如何检测并控制冷藏车的温度波动是运输过程的首要任务, 运输管理子系统主要通过 RFID 标签, GIS 等技术, 对冷藏车上的货物进行唯一标识和跟踪, 实现对货物的实时监控和管理, 从而确保货物的安全性和完整性。然后通过安装 GPS 定位装置和传感器, 对冷藏车的位置、速度、行驶路线等信息进行实时监控和管理, 确保货物的安全运输。运输管理子系统通过应用物联网、RFID 标签等, 对车厢基本信息、配送货物信息、行车信息、配送信息的传输到服务层利用服务层的各种技术对信息进行处理、传递、分类、储存、加密、可视化等, 最后供用户层的用户查询。

4.5. 销售管理子系统

销售管理子系统作为 ERP(企业资源计划)系统的重要组成, 负责提供采集到的销售环节的信息如订单信息、市场消费信息物流咨询信息、经销商信息、市场消费信息、订单信息管理, 为消费者提供物流咨询管理服务。除此之外, 还可以实现客户关系管理, 通过客户信息管理、销售预测、市场分析等功能, 对客户关系进行管理和营销, 提高客户满意度和忠诚度等。

5. 结论

本文以农产品冷链业务流程为导向, 引入物联网、大数据、区块链、决策支持等技术, 对农产品全

程冷链物流管理平台进行了从平台功能到总体架构以及关键技术的研发,对感知层、数据层、服务层、应用层和用户层进行合理设计,通过对农产品全程冷链物流信息的实时监控并记录,实现全程冷链物流各个环节的信息相互共享和传递,从而保证供应链的连续,政府部门、冷链节点企业可以实时查询到企业、农产品、物流等信息。在规范冷链物流各个环节的生产行为和各个企业和相关部门的监督行为,实现消费者对于农产品冷链物流全程信息掌握。本文为冷链企业构建了一种较为完整的基于物联网和大数据的农产品全程冷链物流管理系统,对保证农产品的质量和安全、降低农产品在整个冷链物流过程中的损耗、提高用户对于农产品的满意度具有重要的意义。

基金项目

南通市科技项目(社会民生重点)(MS22021012)。

参考文献

- [1] 汪旭晖,张其林.基于物联网的生鲜农产品冷链物流体系构建:框架、机理与路径[J].南京农业大学学报(社会科学版),2016,16(1):31-41+163.
- [2] Liddell, S. and Bailey, D.V. (2001) Market Opportunities and Threats to the U.S. Pork Industry Posed by Traceability Systems. *International Food and Agribusiness Management Review*, 4, 287-302.
[https://doi.org/10.1016/S1096-7508\(01\)00081-7](https://doi.org/10.1016/S1096-7508(01)00081-7)
- [3] 佟金,王亚辉,樊雪梅,等.生鲜农产品冷链物流状态监控信息系统[J].吉林大学学报(工学版),2013,43(6):1707-1711.
- [4] 魏文展.基于物联网的冷链物流温度监测终端的设计与实现[D]:[硕士学位论文].济南:山东财经大学,2021.
- [5] 汪晨冉.基于物联网技术的农产品智能冷链物流体系研究[D]:[硕士学位论文].昆明:云南财经大学,2019.
- [6] 程文.农产品冷链物流中物联网应用体系的构建[J].物流技术,2017,36(5):133-138.
- [7] 李亚琦.基于物联网技术的水产品冷链物流体系构建[J].物流技术,2022,41(6):105-109.
- [8] 盛艳,周爱莲,李锦霞.农产品冷链物流公共信息平台建设探讨——基于物联网[J].现代商贸工业,2013,25(2):12-13.
- [9] 李德重,海军,张德平,等.基于大数据可视化技术的国土调查数据管理平台设计与实现[J].自然资源信息化,2022(3):33-39.
- [10] 王双双,杜建华,王立俊,等.基于气象大数据云平台的海南气象数据共享平台设计与实现[J].计算机测量与控制,2022,30(10):222-226+232.
- [11] 杨柳,雷金涛,兰梦,孟魁.基于大数据的农产品冷链物流管理系统[J].现代商业,2023(4):38-41.
- [12] 王道康.基于物联网的农产品冷链仓储温湿度监测系统研究[D]:[硕士学位论文].济南:山东财经大学,2022.
- [13] 陈凌栋,李竞,张洪波,等.基于物联网技术的新生儿母乳喂养全流程闭环系统的研究[J].中国数字医学,2022,17(1):58-64.
- [14] 吴冬燕,石瑞华,周霞,等.基于物联网的食品冷链安全监控系统研究[J].食品工业,2016,37(9):174-176.
- [15] 张斐,余建群,张泽建,吴迅.基于区块链技术的冷链物流集装箱监控系统设计[J].物流技术,2021,40(9):98-104.
- [16] 田茂德.基于区块链的疫苗冷链物流管理系统设计与实现[D]:[硕士学位论文].济南:山东财经大学,2022.
- [17] 魏立斐,朱嘉英,衡旭日,等.基于区块链技术和HACCP管理的智能化水产品质量安全溯源系统的设计与实现[J].渔业现代化,2020,47(4):89-96.
- [18] 左康达.基于大数据的农产品冷链物流管理系统[D]:[硕士学位论文].南京:南京邮电大学,2021.
- [19] 肇毓.基于多源异构大数据融合技术的路网运行监测预警平台[J].中国交通信息化,2022(6):96-99.
- [20] 董君成.基于ZigBee技术的农产品冷链物流追溯系统研究[J].物流技术,2014(6):85-88.
- [21] 杨长金.基于GIS的精准扶贫动态管理平台[J].测绘标准化,2022,38(2):118-122.
- [22] 向鬼.物联网技术在生鲜蔬菜冷链物流中的运用探析[J].数字技术与应用,2021,39(8):39-41.
- [23] 朱超才.物联网环境下农产品冷链监控与追溯平台研究[J].山西农业大学学报(社会科学版),2015,14(5):485-490.