

# 基于网络拓扑的生鲜食品供应链管理的 无线传感器网络设计

## Design of wireless sensor network for fresh food supply chain management based on network topology

刘永礼<sup>1</sup> 侯庆丰<sup>2</sup>

LIU Yong-li<sup>1</sup> HOU Qing-feng<sup>2</sup>

(1. 新疆轻工职业技术学院, 新疆 乌鲁木齐 830021; 2. 甘肃农业大学, 甘肃 兰州 730070)

(1. Xinjiang Industry Technical College, Wulumuqi, Xinjiang 830021, China;

2. Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**摘要:**基于 ZigBee 标准无线传感器网络 (WSN), 开发设计了一套实时生鲜食品供应链监控系统, 并改进了综合传感器的可配置架构和网络交换方案。从性能方面对 192 个终端设备的树型拓扑无线传感器网络系统和 80 个终端设备的星型拓扑无线传感器网络系统进行了实现和评价。测试结果表明, 数据通信的成功率在 99% 以上, 理论分析和实际测量的结果表明, 终端设备的功能及寿命足以满足供应链监控的应用。

**关键词:**生鲜食品; 无线传感器网络; ZigBee; 供应链管理

**Abstract:** Environmental monitoring during transportation is the key of fresh food supply-chain management. It provides important information for assessing food quality and predicting shelf life. Based on Zigbee standard wireless sensor network (WSN), a real-time monitoring system for fresh food supply chain was developed and designed in this study, and the configurable architecture and network switching scheme of integrated sensors was also improved to meet the practical application requirements. In terms of performance, the tree topology wireless sensor network system of 192 terminal devices and star topology wireless sensor network system of 80 terminal devices were implemented and evaluated. The test results showed that the success rate of data communication was over 99%. The results of theoretical analysis and practical measurement showed that the function and life of terminal equipment were enough to meet the application of supply chain monitoring.

**Keywords:** fresh food; wireless sensor network; Zigbee; supply-chain management

**基金项目:**自治区高校科研计划立项资助项目 (编号: XJEDU20161059)

**作者简介:**刘永礼 (1975—), 男, 新疆轻工职业技术学院讲师, 硕士。E-mail: LYL568@163.com

**收稿日期:**2019-09-30

实时的供应链管理技术对保障生鲜食品的安全和质量至关重要。例如, 生鲜食品运输过程中的温度调控不当可能会导致质量下降, 据估计<sup>[1-2]</sup>, 每年因此造成的产品损失高达 35%。此外, 卡车的振动也会对水果和蔬菜造成损伤<sup>[3]</sup>。因此, 生鲜食品供应链环境参数监测具有重要的经济价值, 运输及储存条件是影响生鲜食品安全和质量的重要因素。

在传统的冷链管理系统中, 在车辆和仓库中安装了温度计和湿度传感器。这种方法有一些明显的缺点, 如: 只能在本地显示和记录环境信息, 不能与远程用户共享实时数据; 只能监控仓库或车辆内的宏观环境, 不能监控每种食品包装盒内的微观环境; 不能记录卡车装载、车辆切换时的环境状况。因此, 这些系统不能实时、连续地提供生鲜食品的环境信息<sup>[4-8]</sup>。

无线传感器网络 (WSN) 是一种新的生鲜食品供应链管理技术<sup>[9]</sup>, 可以提供关于生鲜食品的实时环境信息, 具有良好的性能和低廉的成本; 传感器节点也可以安装在生鲜食品包装盒中, 并贯穿整个供应链。基于近年来微电子技术的不断进步<sup>[10]</sup>, 无线传感器网络节点的成本和功耗在过去几年中有了显著下降。通过适当的配置, WSN 节点可以检测与食品安全和质量有关的各种环境参数, 如温度、湿度、二恶英、乙烯、振动等<sup>[11-13]</sup>。WSN 已被广泛应用于各种领域的监测系统, 如精确农业、远程医疗和动物行为检测<sup>[14-15]</sup>。冷链管理是无线传感器网络的一个重要应用领域。前人对无线传感器网络的数据通信进行了研究和试验<sup>[16]</sup>, 采用智能分析系统帮助决策。然而, 由于以下原因, 以往的大部分工作不能直接用于生鲜食品供应链管理: ① 以往的大部分工作只收集典型的环境参数, 如温度和湿度。然而, 其他环境参数, 如生鲜食品在运输过程中的运动状态, 也会影响质量。一个典

型的例子是严重的振动和意外的坠落会对水果和蔬菜造成机械损伤<sup>[17]</sup>。②改善非连接状态终端设备的电源管理,当终端设备超出任何路由器或协调器的工作范围,或路由器和协调器偶尔断电时,终端设备将处于非连接状态<sup>[5,14,18]</sup>。在生鲜食品供应链中,协调器和路由器通常安装在仓库或车辆中,由有源电源供电,而终端设备则安装在箱子或容器上。当将生鲜食品从仓库装载到车辆并将其从车辆卸载到仓库时,终端设备将离开原始的 WSN 网络,并在加入新的 WSN 网络之前处于未连接状态<sup>[19]</sup>。如果没有适当的网络交换方案,终端设备处于非连接状态时可能会产生相当大的能耗<sup>[20-21]</sup>。

为实现可重构、低数据率、低成本、低功耗的 WSN 节点,研究拟开发一套生鲜食品供应链管理实时监控系

1 系统概述

1.1 系统架构

该系统可分为 3 个部分:安装在车辆或仓库中的无线传感器网络(WSN)、互联网或移动网络的广域网(WAN)以及远程端的用户。无线传感器网络定期收集和传输温度、相对湿度、二氧化碳浓度和 GPS 定位数据。同时,传感器检测食品包装内的运动状态,包括非法开启、异常振动、过度倾斜和意外坠落,并以事件驱动模式传输。广域网作为一种中介,可以被广泛访问,考虑到不同的工作环境,GPRS 和 WiFi 端口都集成在网关上<sup>[22]</sup>。供应商或零售商可以从广域网获取感知到的数据和警报,做出适当的决策来处理不同的问题,并进一步优化供应链管理。

1.2 无线传感器网络拓扑

系统中的无线传感器网络拓扑包括星型拓扑和树型拓扑,可以根据应用场景进行选择。在星形拓扑中,有一个协调器和多个终端设备<sup>[23]</sup>。在树拓扑结构中,有一个协调器、多个路由器和多个终端设备。协调器是网络的启动者和管理者,负责控制终端设备的加入/退出;还作为 WSN 和 WAN 之间的网关。路由器建立多跳通信结构,同时监控环境参数。它们将数据中继和聚合作为集群的头部。末端装置与不同类型的传感器集成,以收集和传输环境信息和异常运动状态<sup>[24]</sup>。

1.3 获得的信息

系统获得的信息可分为 4 类:环境条件、运动状态、位置和网络状态<sup>[25]</sup>。监测对象、获取信息和相应传感器的详细信息见表 1。

(1) 环境条件:环境条件包括温度、湿度和一氧化碳浓度,温度是影响货架期的最重要参数。相对湿度与食物的水分扩散有关。二氧化碳反映了代谢活动的速度。定期获得所有环境条件。

(2) 运动状态:运动状态包括异常振动、意外坠落、过度倾斜和容器非法打开。收集这些信息是为了评估生鲜食品在运输过程中的物理损伤。

(3) 位置:使用商用 GPS 模块检测车辆位置。

表 1 获取信息和传感器的详细信息

Table 1 Obtained information and details of sensors

| 类别    | 监测对象      | 获得信息   | 传感器类型        |
|-------|-----------|--------|--------------|
| 环境的条件 | 集装箱、仓库、车辆 | 温度     | SHT21        |
|       | 集装箱、仓库、车辆 | 湿度     | SHT21        |
|       | 仓库、车辆     | 二氧化碳浓度 | 辅酶 A         |
| 运动状态  | 集装箱       | 异常振动   | MMA845 3Q    |
|       | 集装箱       | 意外掉落   | MMA845 3Q    |
|       | 集装箱       | 过度倾斜   | MMA845 3Q    |
|       | 集装箱       | 非法打开   | 光强度传感器       |
| 位置    | 车辆        | GPS 信息 | NEO-6M 0-001 |
| 网络状态  | 终端设备      | 电压     | 模数转换器        |
|       | 无线传感器网络   | 网络拓扑   |              |

(4) 网络状态:网络状态包括终端设备电压和无线传感器网络拓扑结构。使用微处理器上的 ADC 测量电压。从接收到的数据中的路由信息中收集无线传感器网络的拓扑结构,并将其显示为图形。

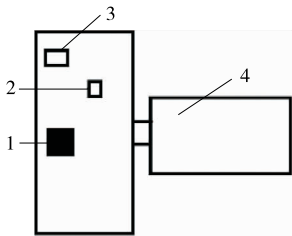
2 硬件的实现

实时生鲜食品供应链管理无线传感器网络的硬件包括终端设备、路由器和协调器。在这项工作中,协调器和路由器是在同一个原型(称为聚合节点)中实现的。聚合节点和终端设备在结构和功能上都不同。设计并实现了两种印刷电路板。

为了减少感应对印刷电路板的干扰,对强信号和弱信号进行隔离,缩短了布线长度。为了提高印刷电路板散热效果,增加了高功耗模块。利用 CADENCE 的设计条目 CIS 建立了原型的开发环境,利用 CADENCE 设计了 PCB 板。

2.1 终端设备

终端设备的结构和原型分别如图 1 所示。由一个 1 500 mA · h 的片状锂电池供电,以便在生鲜食品容器中快速安装。采用由 8051 微处理器和 IEEE802.15.4 标准射频模块组成的 CC2530 运行 ZigBee 协议,对传感器进行控制。实时时钟芯片 DS2417 提供当前时间并产生定时脉冲以唤醒 CPU。为了收集 1.3 中列出的信息,必须为终端设备的硬件设计选择相应的传感器。



1. ZigBee CCC2530 2. 光强度传感器模块 3. 传感器 4. 电池

图 1 终端设备的结构和原型

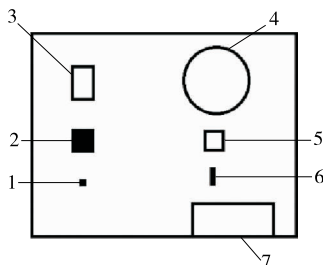
Figure 1 Architecture and prototype of end device

(1) 环境传感器:环境传感器包括温度/湿度传感器和一氧化碳传感器。温度/湿度传感器 SHT21 用于监测集装箱、仓库和车辆中的温度和湿度。温度传感器 SOR 的工作范围为  $-40\sim 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 精率  $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 相对湿度传感器的工作范围为  $0\%\sim 100\%\text{ RH}$ , 精率  $\pm 2\%\text{ RH}$ 。

(2) 运动传感器:安装在端部装置上的三轴加速度计可以检测到异常振动、意外坠落、过度倾斜。采用 MMA8453Q 作为加速度传感器, 提供 3 轴 10 位定义的加速度数据。通过为 MMA8453Q 设置适当的触发参数, 任何异常的运动状态都将触发中断, 并且终端设备将向服务器发送中断类型和加速度计的值。使用光传感器检测到非法打开容器。当容器在运输过程中打开时, 传感器将触发中断, 并将此非法打开事件报告给服务器。所有异常运动状态将作为警报报告给用户。

## 2.2 协调器和路由器

聚合节点(协调器和路由器)的架构和原型如图 2 所示。聚合节点主要由中央处理器、基于 ZigBee 的无线传感器网络内部通信的 CC2530、车载无线传感器网络与远程服务器通信的 GPRS 模块、仓库无线传感器网络与服务器通信的 WiFi、获取车辆位置的 GPS 模块、环境传感器和运动传感器组成。收集信息的传感器。其他部件: 中央处理器采用 ARM Cortex-M3, 用于采集传感器信息, 处理 CC2530 与 WIFI/GPRS 模块之间的通信。Cortex-M3 使用 UART 协议与 CC2530、GPRS 模块和 WiFi 模块通信。H7710E DTU(数据终端单元)支持 GPRS 协议, WiFi 模块工作在  $2.412\sim 2.484\text{ GHz}$  和  $1\ 200\sim 115\ 200\text{ bps}$ 。GPS 模块采用 NEO-6M-0-001, 定位精度为  $2.5\text{ m}$ 。COZIRA 是一种二氧化碳传感器, 用于监测仓库和车辆内的二氧化碳浓度, 由  $12\sim 36\text{ V}$  电源供电, 可直接连接到电源。



1. 加速传感器 2. ZigBee CC2530 3. GPRS 模块 4. CO<sub>2</sub> 传感器 5. CPU 6. 计时器 7. 电源管理器

图 2 聚合节点的架构和原型

Figure 2 Architecture and prototype of aggregation node

## 3 软件的实现

### 3.1 无线传感器网络软件

基于 Z 栈对无线传感器网络的嵌入式软件进行编程 (Z 栈是由 TI 开发的用于 CC2530 的免费 ZigBee 协议栈)。除了通信协议程序外, Z-Stack 还提供了一个事件

驱动的任务调度程序。因此, 用户只需为其特定的应用开发应用层程序和外围设备的硬件驱动程序。Z-Stack 的详细介绍见 2006 年《Ti Z-Stack 用户指南》; 2006 年《Z-Stack 示例应用程序》及 2006 年《Z-Stack API》<sup>[26]</sup>。

在生鲜食品供应链中, 终端设备必须离开原来的无线传感器网络, 并在装卸过程中加入新的无线传感器网络。如果加载或卸载过程复杂, 终端设备可能会长时间失去与任何网络的连接。此外, 当车辆停止时, 协调器或路由器断电时, 终端设备也将失去与节点的连接。在上述情况下, 如果处理不当, 终端设备将继续搜索新的网络工作, 并尝试连接到路由器或协调器, 从而导致相当高的功耗。

终端设备的寿命是无线传感器性能的关键因素, 将终端设备设置为睡眠模式是在没有任务运行时, 降低功耗的传统方法。这种节能方案由 Z 栈提供。然而, 只有当终端设备已经连接到 WSN 时, Z 栈的节能方案才会生效。因此, 为了降低非连接状态下的功耗, 设计了一种改进的生鲜食品供应链监控终端设备的网络切换方案。

当终端设备从关机状态切换到初始状态时, 开始搜索并尝试加入新网络。如果终端设备不能加入任何网络, 将设置睡眠时间, 并进入非连接睡眠状态, 在该状态下, 当前的消耗量大约为  $13\text{ }\mu\text{A}$ 。当睡眠时间结束时, 终端设备中的实时时钟唤醒微处理器, 将回到初始状态并再次尝试加入新网络。如果终端设备成功加入网络工作, 则终端设备将初始化配置参数并进入已加入睡眠状态。使用实时时钟或加速度传感器和非法打开传感器引起的中断, 可以唤醒处于联合睡眠状态的终端设备。在被唤醒后, 终端设备收集并上传相应的传感器信息, 并将其传输到上级节点。如果传输失败, 终端设备将返回初始状态; 否则, 终端设备将保持加入的睡眠状态。如果接收到配置命令, 则终端设备将相应地设置配置参数。无论终端设备处于哪个状态, 一旦节点电源被切断, 终端设备将进入电源关闭状态, 在电源恢复之前不应用于任何命令。特别是当终端设备无法加入网络时, 将保持非连接睡眠状态, 并定期唤醒以尝试加入网络。正确设置接入时间和休眠时间, 可以显著降低终端设备断开与任何网络连接时的功耗。

### 3.2 软件的应用

3.2.1 配置软件 由于应用场景和食品种类的多样性, 生鲜食品供应链监控系统需要配置不同的设置。例如, 仓库存储可以使用 WiFi, 车辆运输可以使用 GPRS 通信, 冷冻食品监控时的感知频率高, 生鲜水果蔬菜监控时的感知频率低。试验开发了一套组态软件。表 2 列出了系统的可配置设置。

3.2.2 PC 和智能手机的用户界面 PC 和智能手机的用户界面负责向最终用户显示传感器和警报信息等环境信息, 满足智能化食品物流管理的要求。设计开发了一个

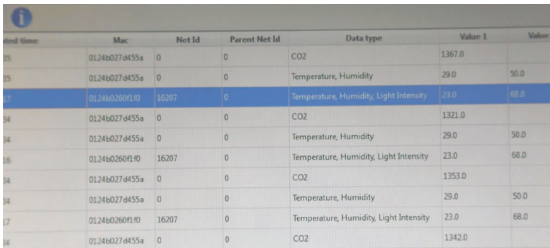


表 2 系统的可配置设置

Table 2 Configurable settings of the system

| 对象   | 设置名称                   | 数值                                                  |
|------|------------------------|-----------------------------------------------------|
| 传感控制 | 传感选择                   | 温度、湿度、CO <sub>2</sub> 浓度,异常振动,意外坠落,过度倾斜,非法打开,全球定位系统 |
|      | 温度、湿度和 CO <sub>2</sub> | 1~60 min/次                                          |
|      | 传感周期                   |                                                     |
| 系统管理 | 网关议定书                  | WiFi/GPRS                                           |
|      | 服务器 IP 地址              |                                                     |
|      | 服务器端口                  |                                                     |

在 PC 机上运行的应用程序和智能手机“供应链管理助手”的应用程序,其用户界面如图 3 所示。供应链管理辅助应用程序界面如图 4 所示。应用程序显示温度、相对湿度和当前位置的实时信息,通过信息推送,通知用户异常加速和非法打开等报警信息。



| Node Name | Mac           | Net Id | Parent Net Id | Data type                              | Value 1 | Value 2 |
|-----------|---------------|--------|---------------|----------------------------------------|---------|---------|
| 01        | 012460274855a | 0      | 0             | CO2                                    | 1367.0  |         |
| 02        | 012460274855a | 0      | 0             | Temperature, Humidity                  | 29.0    | 90.0    |
| 03        | 0124602001010 | 16207  | 0             | Temperature, Humidity, Light Intensity | 25.0    | 65.0    |
| 04        | 012460274855a | 0      | 0             | CO2                                    | 1321.0  |         |
| 05        | 012460274855a | 0      | 0             | Temperature, Humidity                  | 29.0    | 90.0    |
| 06        | 0124602601010 | 16207  | 0             | Temperature, Humidity, Light Intensity | 23.0    | 68.0    |
| 07        | 012460274855a | 0      | 0             | CO2                                    | 1353.0  |         |
| 08        | 012460274855a | 0      | 0             | Temperature, Humidity                  | 29.0    | 90.0    |
| 09        | 0124602601010 | 16207  | 0             | Temperature, Humidity, Light Intensity | 23.0    | 68.0    |
| 10        | 012460274855a | 0      | 0             | CO2                                    | 1342.0  |         |

图 3 应用程序用户界面

Figure 3 Application user interface



图 4 辅助应用程序界面

Figure 4 Auxiliary application interface

4 测试结果

测试了所开发的无线传感器网络的功能和性能。在测试场景中,使用 1 个协调节点、8 个路由器节点,最多 192 个终端设备。

4.1 末端装置功耗

对于协调器和路由器,嵌入式软件包括 CC2530 程序

和 Cortex-M3 程序。CC2530 程序实现了基于 TI 提供的 Z 堆栈的标准 ZigBee 协议栈。Cortex-M3 程序通过 CC2530、WiFi 模块和 GPRS 模块实现传感器驱动、传感器数据采集和 UART 通信。

表 3 能耗测量结果

Table 3 Measurement results of energy consumption

| 对象     | 参数             | 单位      | 数值  |
|--------|----------------|---------|-----|
| 终端设备   | 发射电流           | mA      | 28  |
| 终端设备   | 接收电流           | mA      | 8   |
| 终端设备   | 睡眠电流           | $\mu$ A | 13  |
| 连接端设备  | 单包传输平均传输时间     | ms      | 30  |
| 连接端设备  | 单包传输平均接收时间     | ms      | 20  |
| 连接端设备  | 等待配置包的接收时间     | s       | 5   |
| 非连接端设备 | 加入网络过程中的平均传输时间 | s       | 8.7 |
| 非连接端设备 | 平均接收时间加入网络的过程  | s       | 4.3 |

为了分析节点的实际功耗,对终端设备进行了动态电流测试。电池和终端设备之间的动态电流由电流探针检测并显示在示波器上。连接到网络的终端设备称为连接的终端设备,未连接到网络的终端设备称为未连接的终端设备。试验测量了连接端和非连接端的发射和接收电流和时间消耗。对于未连接的终端设备,每个周期的网络连接时间设置为 13 s。功耗测量结果如表 3 所示。当采用 1 500 mA·h 的电池,数据传输周期为 1 min 时,终端设备的寿命可以超过 1 年。当唤醒周期为 10 min,电池所含能量为 1 500 mA·h,非连接端设备的寿命为 150 d,改进网络交换方案的终端设备比未改进网络交换方案的终端设备寿命长得多<sup>[27]</sup>。延长终端设备的使用寿命,使其能够应用于长期监测生鲜食品供应链管理。

在实际电池电压测试中,测试了星型拓扑中配置的 80 个终端设备和树型拓扑中配置的 192 个终端设备。采样周期设定为 1 min,通过跟踪两个不同终端设备的日电池电压,绘制实际电池电压曲线,如图 5 所示。在星型拓扑和树型拓扑中工作 70 d 后,终端设备的实际电池电压保持稳定。

4.2 数据传输成功率

在传输成功率测试中,星型拓扑采用了 8 种节点规模的 10~80 个终端设备,中间值为 10 个终端设备。在树型拓扑结构中,10 种节点规模采用 100~190 个终端设备,间隔为 10 个终端设备。对每一级终端设备进行了 3 次成功率测试,并记录了平均结果。星型拓扑中的所有 80 个终端设备的数据传输都完全成功;对于树型拓扑中的 190 个终端设备,成功率达到 99.3%,对通信的稳定性具有重要意义。

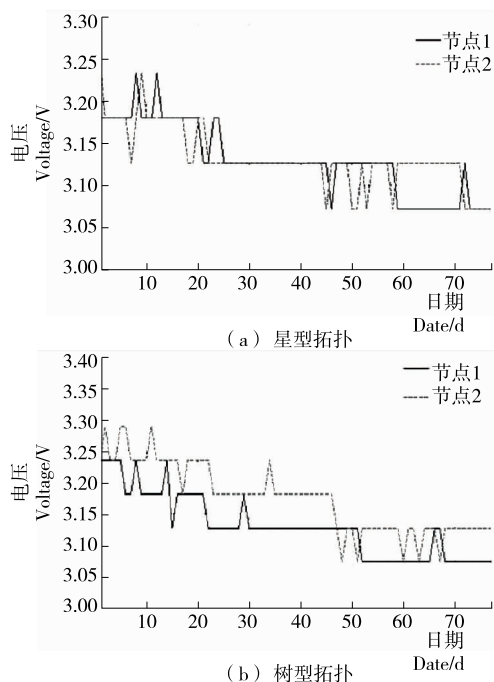


图 5 电池电压曲线

Figure 5 Battery voltage curve

## 5 结论

基于 ZigBee 标准,设计并实现了一种用于生鲜食品供应链监测的无线传感器网络,详细介绍了系统的体系结构、硬件设计和软件实现,并基于环境和运动状态信息的综合监控,非连接终端设备的节能方案,以及具有可配置拓扑和系统设置的无线传感器网络结构进行改进。通过理论分析和实际无线传感器网络节点测试,评价了数据传输的功能、功耗和成功率。结果表明,该系统具有较好的使用寿命;改进后的网络切换方案可显著降低非连接终端设备的功耗,延长节点的使用寿命。系统数据传输成功率达 99% 以上。

与以往的研究<sup>[16]</sup>相比,该系统不仅能监测环境参数,还能监测生鲜食品的运动状态,为供应链管理提供更全面的信息。设计并实现了一种改进的网络切换方案,以降低生鲜食品装卸时非连接端设备的功耗。与传统的 ZigBee 系统相比,该方案显著延长了终端设备的寿命。此外,还可以根据不同的应用需求配置系统的门路、传感频率和网络拓扑等通信协议。如何设计超低成本、高集成度的传感器节点是今后研究的热点。

## 参考文献

- [1] 用于观光农业的混合型无线传感器网络节点设计[J]. 华南农业大学学报, 2017(2): 125-131.
- [2] 徐小辉. 煤矿现场无线传感器网络管理系统设计[J]. 煤炭技术, 2018(12): 256-264.
- [3] 张罡. 船舶无线传感器网络设计的 ZigBee-GPS 技术应用[J].

舰船科学技术, 2017(22): 122-124.

- [4] 郑宝周, 李富强, 吴莉莉, 等. 基于 780 MHz 频段的农田信息采集无线传感器网络设计[J]. 河南农业大学学报, 2017(1): 62-67.
- [5] 刘重慧, 范誉川, 徐明宇, 等. 现代生物技术在食品检验中的应用[J]. 食品与机械, 2017, 33(9): 209-213.
- [6] 董辉, 杨录, 张艳花. 面向工业现场监测的无线传感器网络结构设计[J]. 仪表技术与传感器, 2017(2): 116-124.
- [7] 张兴. 基于 ZigBee 无线传感器网络和 Android 技术的档案库房智能管理平台设计[J]. 山西档案, 2018(1): 67-85.
- [8] 滕志军, 张力, 宋锐, 等. 基于无线传感器网络的智能用电在线监控系统[J]. 电子器件, 2017(6): 243-246.
- [9] 陆旭群. 浅析 RFID 技术在我国生鲜食品冷链物流管理中的应用[J]. 市场周刊, 2008(3): 132-133.
- [10] 余凯. 超市生鲜食品经营与供应链管理[J]. 商业经济文荟, 2005(5): 45-47.
- [11] 谢松志, 罗炳峰, 周子涵, 等. 基于区块链的肉类食品供应链管理研究[J]. 商场现代化, 2018(23): 25-26.
- [12] 唐润, 彭洋洋. 基于微分对策的生鲜食品供应链双渠道协调机制[J]. 计算机集成制造系统, 2018(4): 1 034-1 045.
- [13] 孙卓. 基于 WSN 和 ZigBee 的水质监测系统设计与实现[J]. 电子设计工程, 2017(24): 231-239.
- [14] 孙琳, 徐斐. 基于 Qt 与 WSN 的温湿度仪表显示系统[J]. 电声技术, 2018, 42(11): 27-28, 85.
- [15] 陈显明, 刘书焕. 基于 ZigBee 的 WSN 自适应室内定位系统实现[J]. 科技通报, 2017(3): 44-53.
- [16] 冯贺平, 吴梅梅, 杨敬娜. 基于 ZigBee 技术的果蔬冷链物流实时监测系统[J]. 江苏农业科学, 2017(6): 267-281, 290.
- [17] 王超. 基于 ZIGBEE 无线传感器网络的车辆定位算法研究[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2016: 45-51.
- [18] 许世林, 王义波, 赵昌勇, 等. 电网参数的无线传感器网络监测系统[J]. 科技视界, 2017(5): 91-91.
- [19] 李宇, 徐勇军. 基于 ZigBee 的 WSN 路由研究与实验[J]. 电子技术应用, 2007, 33(5): 108-110.
- [20] 李长庚, 刘威鹏, 胡纯意, 等. 基于 ARM 和 ZigBee 的 WSN 节点设计与实现[J]. 计算机工程, 2010, 36(17): 135-137.
- [21] 侯佳佳. 基于 ZigBee 的温室 WSN 监测系统的设计与研究[D]. 苏州: 江苏大学, 2009: 13-19.
- [22] 周丽梅. 基于 ZigBee 技术的 WSN 及定位方法实现[D]. 大连: 大连理工大学, 2007: 45-61.
- [23] 丁心体. ZigBee 协议栈及 WSN 路由协议的研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2013: 56-60.
- [24] 董欣. 基于 ZigBee 的 WSN 定位系统[J]. 计算机系统应用, 2012, 21(12): 43-46.
- [25] 钱良, 王颖, 黄萍, 等. 基于 WSN 的智能家居控制系统设计[J]. 科技广场, 2014(4): 245-248.
- [26] 石建国, 马云辉, 张华斌, 等. ZigBee 无线传感器网络教学实验平台开发[J]. 物联网技术, 2013(6): 28-30.
- [27] 曾玉英. 食品物流存在的食品安全问题与对策[J]. 食品与机械, 2015, 31(3): 47-65.