

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.08.025

# 基于 WSN 的水产品冷链物流实时监测系统\*

齐林<sup>1</sup> 韩玉冰<sup>2</sup> 张小栓<sup>2</sup> 邢少华<sup>1</sup> 傅泽田<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

**【摘要】** 为降低水产品物流损耗、提高水产品冷链物流信息化程度,以 ZigBee 协议为基础,围绕 CC2530 型无线传感片上系统,设计了基于无线传感网络(WSN)的水产品冷链物流实时监控系统。系统包括用于采集温度数据的监测节点、用于 ZigBee 网络组织与数据汇聚的协调器节点和用于实时监测、数据存储和网络控制的远程管理系统。冷链环境系统测试表明监测系统能够应用于水产品冷链物流仓储和运输的全过程,监测节点在变温箱温度 $-18^{\circ}\text{C}$ 时工作可靠。通信性能测试表明使用 $-3\text{ dBm}$ 射频功率在 $30\text{ m}$ 通信范围内丢包率小于 $8.4\%$ ,节点通信能耗低。

**关键词:** 水产品 冷链物流 无线传感网络 ZigBee

**中图分类号:** S98; F252 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)08-0134-07

## Real Time Monitoring System for Aquatic Cold-chain Logistics Based on WSN

Qi Lin<sup>1</sup> Han Yubing<sup>2</sup> Zhang Xiaoshuan<sup>2</sup> Xing Shaohua<sup>1</sup> Fu Zetian<sup>1</sup>

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

2. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

### Abstract

In order to reduce the losses during logistics of aquatic products and improve the informationization level in aquatic products cold-chain logistics, a wireless sensor network (WSN) based on real time monitor system was proposed for aquatic products cold-chain logistics with ZigBee protocol and CC2530 wireless sensor SoC. The system included a sensor node designed for temperature data collection, a coordinator used for data upload and ZigBee network organization, a remote management system developed for cold-chain real time monitor, data storage and ZigBee network control. The system test under cold-chain logistic environment proved that it could be equipped in the whole process of the aquatic products cold-chain and the monitoring node was reliable under  $-18^{\circ}\text{C}$ . The communication performance test showed that the node with a  $-3\text{ dBm}$  RF power achieved a  $8.4\%$  or lower packet loss rate within a  $30\text{ m}$  communication distance, the energy consumption of data communication was low.

**Key words** Aquatic, Cold-chain logistics, Wireless sensor network, ZigBee

### 引言

随着中国经济的不断发展,人们的饮食结构正逐渐发生变化,其中对水产品的需求也日益增大<sup>[1]</sup>。2010年,我国水产品总产量达到 $5\,373\text{万 t}$ ,

连续20余年位居世界首位<sup>[2]</sup>。水产品作为一种特殊的农产品,流通过程中易腐烂、变质,因此在生产、加工到最终的消费过程中具有一定的保质、保鲜要求和期限,且主要以鲜活或冷冻形式进行运输<sup>[3]</sup>。

冷链物流(cold-chain logistics)是指以冷冻工艺

收稿日期:2011-10-31 修回日期:2012-01-13

\* 国家自然科学基金资助项目(71072153)和中罗政府间合作资助项目(40-14)

作者简介:齐林,博士生,主要从事农业信息化技术研究,E-mail: kylinx\_qi@cau.edu.cn

通讯作者:傅泽田,教授,博士生导师,主要从事农业工程研究,E-mail: fzt@cau.edu.cn

学为基础,以人工制冷技术为手段,以生产流通为衔接,为了保证产品的质量,减少因为腐烂变质而引起的损耗,从而将易腐的生鲜产品在生产、储藏、运输、销售直到消费前的各环节中始终处于规定的低温环境下的一项系统工程<sup>[4]</sup>。冷链物流既要求着眼于各物流环节综合成本的最小化,又要求物流速度快、市场反应灵敏;而物流体系复杂,参与主体多,信息不对称程度较高;物流过程基于安全性的质量监控和实时跟踪,需要高度的信息化技术支持<sup>[5]</sup>,传统的人工温度采集方式已不能满足需要。

无线传感网络(wireless sensor network, 简称 WSN)是综合应用传感器、嵌入式计算技术的分布式信息处理技术,可以在任何时间、地点和环境条件下采集海量数据,特别适用于工业控制和环境监测<sup>[6-7]</sup>。目前,无线传感网络在精细农业,特别是温室控制、精确灌溉、动植物生长监测等领域的应用在国内外已有相关研究<sup>[8-13]</sup>,该技术应用于水产品冷链物流信息监测也成为了必然趋势。

本文针对基于无线传感网络的水产品冷链物流信息监测系统功能需求,设计一种用于采集和上传

温度数据的监测节点和一种用于网络组织和数据汇聚的协调器节点,开发用于实时监测、数据存储和网络控制的远程管理系统,并进行完备的冷链环境系统测试和通信性能测试。

## 1 监测系统基本结构

### 1.1 系统总体结构

基于 WSN 的水产品冷链物流实时监测系统是一个无线传感信息采集系统,属于软实时系统<sup>[14]</sup>,冷链水产品货物位置、温度信息的采集传输过程中,数据延迟对系统应用的影响并不大。

系统基本结构共分 3 层:安装在托盘、周转箱上的温度传感器节点和安装在冷藏车、冷库等冷链内的无线传感网络协调器构成远程采集层,负责冷链仓储、运输过程中温度信息的采集和上传;数据库服务器、应用服务器、路由器和防火墙构成服务层,负责冷链温度信息的接收、存储,为上位机系统运行提供平台;客户端程序构成用户访问层,负责向用户提供实时、可靠的水产品冷链监测信息,并提供友好、简便的前段监测网络配置接口,如图 1 所示。

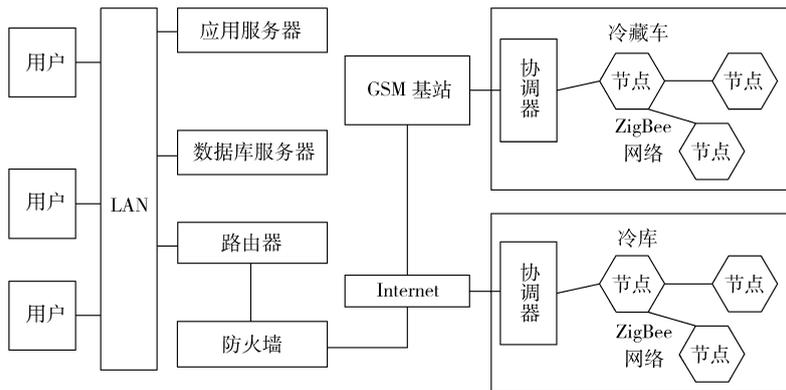


图 1 系统总体拓扑结构

Fig. 1 System architecture and topology

### 1.2 系统通信协议

目前常用的无线网络协议有 IEEE 802.11b、蓝牙和 ZigBee 等,各种协议的数据速率和通信范围等特点如表 1 所示。

表 1 常用无线网络通信协议特性

Tab. 1 Characteristics of common wireless network communication protocols

无线网络协议	数据速率/ $\text{Mb} \cdot \text{s}^{-1}$	通信范围/m	典型应用
ZigBee	0.02 ~ 0.25	10 ~ 100	无线传感网络
蓝牙	1 ~ 3	2 ~ 10	无线手持设备
IEEE 802.11b	1 ~ 11	30 ~ 100	无线局域网

基于 WSN 的水产品冷链物流实时监测系统的温度数据实时采集具有低速率、小范围、无线传输的

特点,适用 ZigBee 通信协议。

ZigBee 协议是 ZigBee 联盟在 IEEE 802.15.4 低速无线个人域网(wireless personal area network, 简称 WPAN)物理层和介质访问控制层(media access control, 简称 MAC)规约的基础上,完善了网络层、应用支持子层及相关安全服务而形成的广泛应用于无线传感网络的低速、低功耗、自组织通信协议。本研究应用 ZigBee 协议实现水产品冷链物流实时的温度数据采集与汇聚。ZigBee 协议的分层结构框架如图 2 所示。

ZigBee 协议根据设备网络功能的差异,定义了 2 种设备类型:全功能设备(full function devices, 简称 FFDs)和精简功能设备(reduced function devices, 简称 RFDs)。全功能设备能与任何网络设备通信

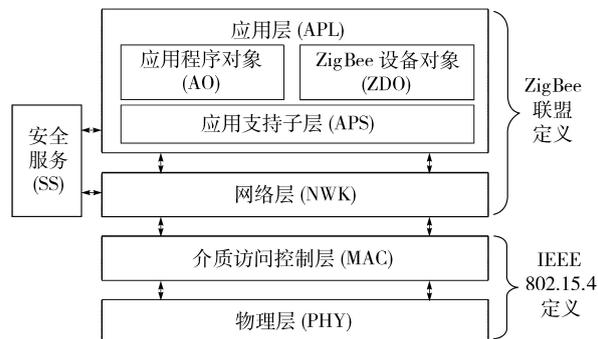


图2 ZigBee无线网络协议分层结构

Fig. 2 Protocol layers of ZigBee wireless network

并能充当各种网络角色,精简功能设备只能与全功能设备通信,一般仅能充当终端监测节点<sup>[15]</sup>。在一个 ZigBee 网络中,一般存在一个网络协调器,用于负责网络建立及相关配置,存在若干路由器负责路由和报文转发,存在若干终端设备用于接收和发送报文。本研究针对水产品冷链物流实时监测的特点,设计了一种网络协调器作为监测系统的网关节点和一种具有路由功能的监测节点用于冷链温度信息的实时监测。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 监测节点

传感器监测节点在冷链物流过程中实时感知水产品的温度信息,并通过 ZigBee 网络向协调器发送温度数据。因此,微处理器、ZigBee 射频模块、温度传感器和能量模块是构成监测节点的必要组成部分。

为优化电路设计、提高节点的集成度,本研究选用美国德州仪器公司 (Texas Instruments, 简称 TI) 生产的 CC2530 型无线传感片上系统 (system on chips, 简称 SoC) 作为微处理器和射频模块的解决方案。CC2530 内嵌一个增强型 8051 单片机,含 256 KB 程序存储器,其射频前端支持 2.4 GHz IEEE 802.15.4 射频收发,通过硬件支持 CSMA/CA 算法,具有较高射频灵敏度和较低功耗 (主动接收电流 24 mA, 1 dBm 主动发送电流 29 mA),可以适应 2.0 ~ 3.6 V 直流电源,芯片尺寸 6 mm × 6 mm。

温度传感器采用 SHT11 型数字式温湿度传感器。SHT11 是瑞士 Sensirion 公司生产的基于 I<sup>2</sup>C 总线的集成温湿度传感器,该传感器通过两线接口 (数据和时钟) 与单片机相连,在 -40 ~ 123.8℃ 工作范围内具有 0.01℃ 分辨率和 ±0.4℃ 精确度,使用 2.4 ~ 5.5 V 直流电源,采样电流为 0.55 mA。监测节点的硬件框图如图 3 所示。

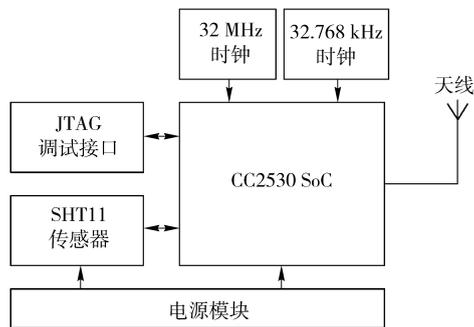


图3 监测节点硬件框图

Fig. 3 Block diagram of monitoring node

### 2.2 协调器

网络协调器用于建立和维护 ZigBee 网络,在本研究中协调器同时充当网关,接收上位机的网络配置命令并向上位机传递冷链监测温度信息。因此,网络协调器需要由微处理器、ZigBee 射频模块、上位机通信接口和能量模块构成。为与网络监测节点形成无缝 ZigBee 通信能力,协调器的微处理器和射频模块同样采用 CC2530 片上系统。

协调器采用 RS-232 串行接口与上位机通信,RS-232 接口作为常用的外部设备与计算机或其他设备通信的接口,使用标准的 DB9 接口,通过统一的电平配置,直接与计算机通信。本研究使用 MAX3232 作为串行接口芯片,MAX3232 具有 2 组全速率串行收发器,最大数据速率为 250 kb/s,使用 3.0 ~ 5.5 V 直流电源。

由于协调器需长时间不间断工作,其电源能耗较高,需要外接电源进行供电,本研究使用 TI 公司 BQ24071 芯片实现外部电源管理与电池的充电管理,使用 AS1117-33 芯片实现外部电源供电的 3.3 V 电平转换。协调器的硬件框图如图 4 所示。

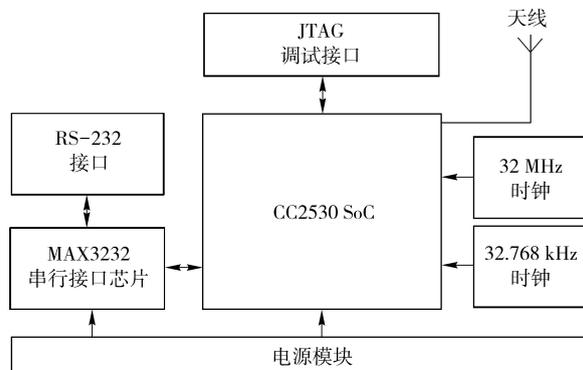


图4 协调器硬件框图

Fig. 4 Block diagram of coordinator

## 3 系统软件设计

监测节点与协调器的嵌入式软件系统使用 IAR Embedded Workbench for 8051 嵌入式集成开发环

境,在 Z-Stack 操作系统基础上编写,开发语言为 C 语言。Z-Stack 是 TI 公司针对 CC2430/2530 SoC 开发的集成 ZigBee 协议栈的嵌入式操作系统,调度方式为基于任务优先级的轮转查询。系统的远程管理软件使用 Microsoft Visual Studio 2008 集成开发环境编写,开发语言为 C#语言。

### 3.1 监测节点

Z-Stack 是半开源操作系统,其 MAC 层、网络层、应用支持子层和 ZigBee 设备对象层不需开发;在硬件抽象层中,存储 CC2530 与 SHT11 传感器通信的引脚定义和时序;处理传感器数据采样和通信的函数则在应用层编写。

监测节点在上电后首先完成系统初始化,包括初始化系统时钟、初始化堆栈、初始化 Z-Stack 操作

系统硬件抽象层、进行网络配置等;节点完成初始化后,进入 Z-Stack 操作系统进行优先级轮转式任务轮询。根据任务事件的优先级,依次轮询 MAC 层、网络层、硬件抽象层、应用支持子层和 ZigBee 设备对象层,如以上各层均无事件触发,则轮询至应用层。

应用层事件处理函数如被触发,首先判断是否是定时器中断,如是则复位 SHT11 传感器并开始一次采样;应用层事件处理函数并不等待采样完成,直接退出并进入下一次轮询;采样完成会再次触发应用层事件处理函数,此次则调用应用支持子层的数据实体服务访问点(APSDE - SAP)向协调器发送数据;数据发送完成后 APS 层通过原语通知应用层,并触发第三次应用层事件处理函数。温度数据采集与传输的流程如图 5 所示。

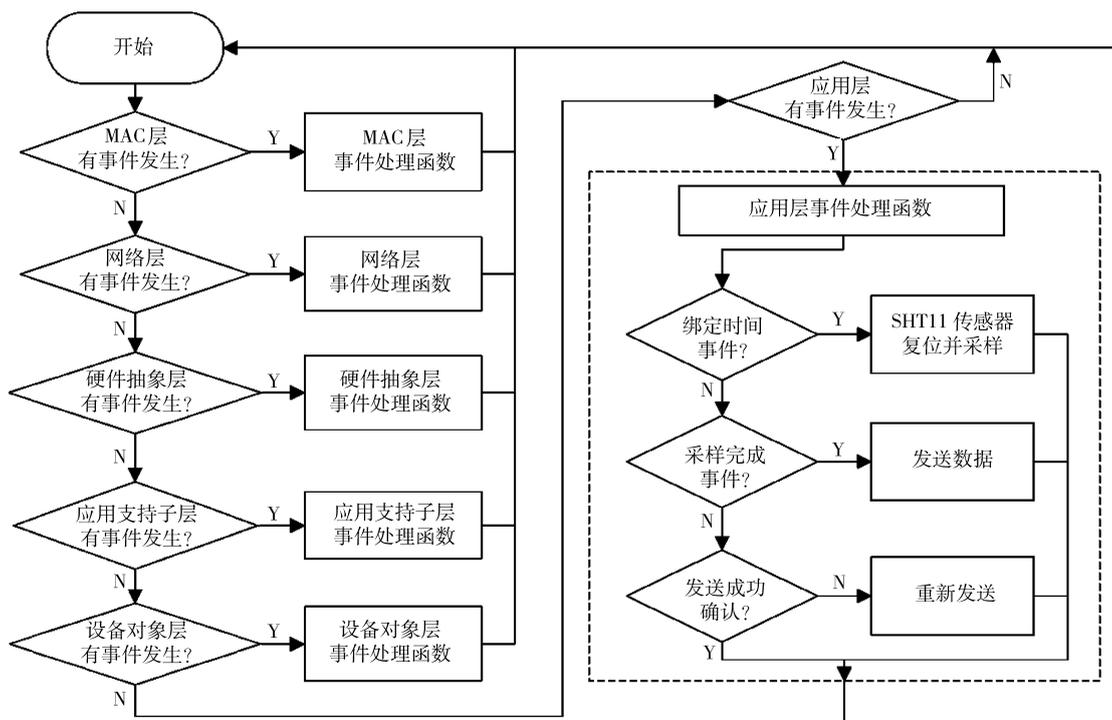


图 5 监测节点温度数据采集传输流程图

Fig. 5 Flow chart of temperature data sample and transmission process on monitoring node

### 3.2 协调器

与监测节点类似,协调器嵌入式软件系统在启动后仍然首先初始化硬件;在 SoC 硬件初始化完成后,进行串口配置,主要设置数据速率、奇偶校验位、停止位等。以上步骤完成后,协调器组织一个 ZigBee 网络并等待节点发送入网请求;在网络生存期内,协调器监听信道,若监测节点的温度数据到达,则根据监测节点的需求选择发送 ACK 确认帧;对于上传到达的温度数据,协调器记录其信源节点的 64 位物理地址,将温度与监测节点建立关联,最后通过串口向上位机发送;在串口发送失败的情况下,协调器复位串口并重新发送数据;发送完成后继

续监听信道等待新的监测数据。协调器应用层事件处理函数中监测数据转发流程如图 6 所示。

### 3.3 远程管理软件

网络协调器通过 RS - 232 接口与基于 ARM 的工控板通信,利用工控板的板载 GPS 实现冷链监控 ZigBee 网络的实时定位,并利用 GSM 模块实现监控数据向远程管理软件通信。

远程管理软件的主要功能包括通信管理模块、数据管理模块、网络配置模块、冷链物流批次管理模块和信息监控模块等。通信管理模块主要负责建立和维护数据中心与 ZigBee 网络协调器的数据链路,保证数据的实时上传;数据管理模块主要负责上传

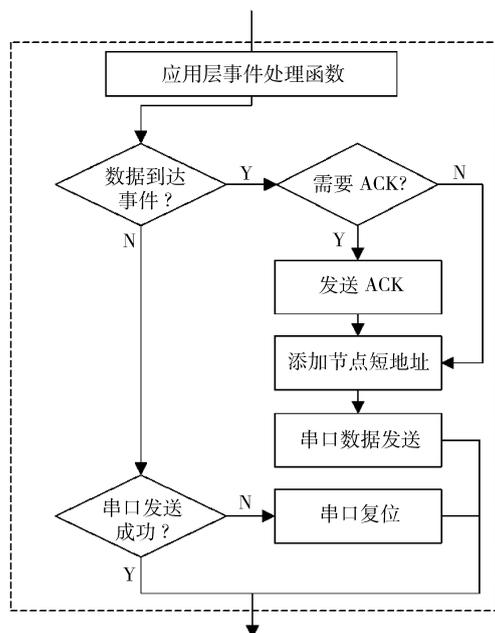
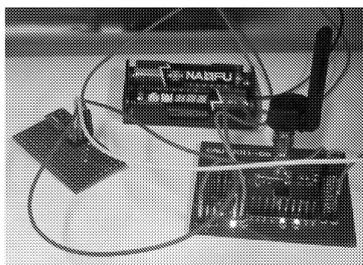


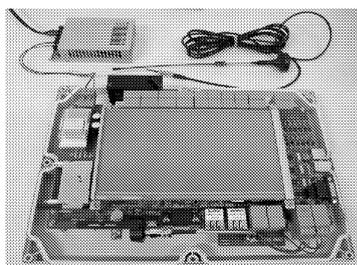
图6 协调器监测数据转发流程图

Fig. 6 Flow chart of monitoring data relay process on coordinator

数据帧的解析、数据库连接的配置维护以及监测数据的实时存储等;网络配置模块主要负责 ZigBee 监控网络的通信信道、信号强度、PAN ID 等相关参数的强制配置等;冷链物流批次管理模块主要负责水产品冷链物流过程中与相关监测节点的关联、解关联操作,实现监测节点的物理地址与水产品批次



(a)



(b)

图8 系统安装图

Fig. 8 Photo of system installation

(a) 监测节点 (b) 协调器

#### 4.2 冷链环境系统测试

冷链环境系统测试在中国农业大学信息与电气工程学院进行。设置变温箱为空载运行进行冷链环境系统测试。首先设置变温箱在  $60^{\circ}\text{C}$  运行 60 min 以干燥变温舱。向监测节点盒体放置石灰干燥剂避免低温环境下水蒸汽在电路板凝结造成短路。

将监测节点放入变温舱内,密闭舱门,设置变温箱在  $-18^{\circ}\text{C}$  运行 12 h,进行冷链环境的系统测试,温度采样间隔为 10 min。协调器通过 ARM 工控计算机将温度数据上传到远程管理软件上,并由该软件向数据库进行实时存储。远程管理软件数据接收和

信息的无缝转化;信息监控模块用于实现冷链物流温度信息和其他信息的实时显示和历史数据查询等,为用户提供透明的水产品冷链物流监控信息以便优化决策。远程管理软件的功能模块如图 7 所示。

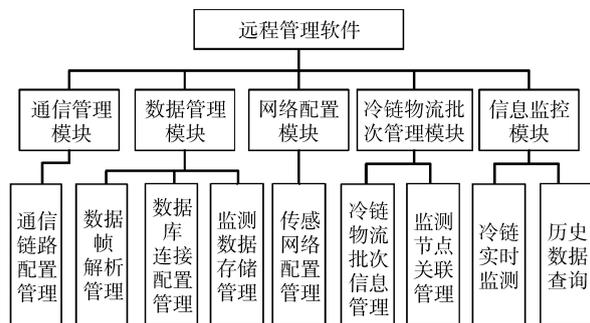


图7 远程管理软件的功能模块

Fig. 7 Function modules of remote management software

#### 4 系统测试

##### 4.1 测试条件

冷链温度环境使用天津苏瑞科技有限公司 TEMI1880 型高低温交变试验箱(以下称变温箱)模拟。向监测节点和网关协调器节点中分别烧写嵌入式系统,将协调器节点与广东致远电子有限公司 JASS-1000 型 ARM 工控计算机通过 RS-232 接口连接,以模拟车载移动数据采集场景,系统安装状态如图 8 所示。

显示主界面如图 9 所示,监测节点采集的温度数据如图 10 所示。

测试结果表明,所有数据点分布在  $(-18.25 \pm 0.06)^{\circ}\text{C}$  区间内,未出现丢包,也没有发生采样值随电压下降而出现明显偏移的情况,监测节点工作可靠。传感器采样温度与变温箱设置温度之间的误差在 SHT11 传感器的误差允许范围内,传感器监测数据可信。

##### 4.3 通信性能测试

通信性能测试在中国农业大学工学院西侧广场进行。测试项目为接收信号强度指标(received

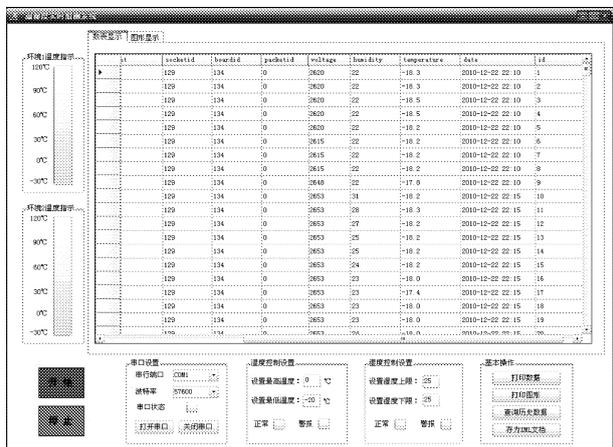


图 9 远程管理软件数据接收界面

Fig. 9 Data receive window of remote management software

signal strength indicator, 简称 RSSI) 和丢包率。

从 MAC 帧读出的 RSSI 是芯片寄存器的原始值, 需经过运算将其转换为接收节点的 RF 管脚的功耗<sup>[16]</sup>, 即

$$R = R_v + R_o \quad (1)$$

表 2 接收信号强度指标测试结果

Tab. 2 Testing results for received signal strength indicator

发射功率 /dBm	距离/m								
	1	2	5	10	20	30	40	60	80
4.5	-51.5	-50.5	-71.4	-75.0	-85.2	-92.5	-92.9	-99.8	-98.6
2.5	-53.6	-53.0	-73.0	-76.7	-85.4	-93.2	-94.6	-99.7	-99.0
1.0	-54.8	-55.0	-76.6	-80.1	-90.0	-93.7	-97.0	-99.0	
-0.5	-55.6	-56.8	-78.4	-80.9	-92.0	-94.5	-97.6		
-1.5	-57.6	-57.9	-79.0	-81.4	-93.5	-98.0	-98.4		
-3.0	-60.6	-61.1	-80.0	-84.8	-92.8	-98.6	-99.3		
-6.0	-64.7	-65.0	-85.0	-88.2	-96.0	-99.7	-100.0		
-10.0	-66.1	-67.7	-88.6	-91.7	-99.2	-101.0			
-14.0	-71.1	-73.2	-93.0	-94.5	-100.7				
-18.0	-75.1	-77.8	-96.0	-97.8					
-22.0	-79.0	-89.0	-98.0	-100.1					

注: 空白处为因未收到数据帧, 无法检测接收信号强度指标。

表 3 丢包率测试结果

Tab. 3 Testing results for packet losing rate

发射功率 /dBm	距离/m								
	1	2	5	10	20	30	40	60	80
4.5	0	0	0	0	0	4.8	4.4	71.2	77.4
2.5	0	0	0	0.4	0.2	4.6	5.4	97.0	96.8
1.0	0	0	0	1.0	2.4	4.4	9.2	99.6	100
-0.5	0	0	0	1.6	1.8	4.6	26.0	100	100
-1.5	0	0	0	1.4	3.6	4.4	23.2	100	100
-3.0	0	0	0	5.4	3.6	8.4	62.8	100	100
-6.0	0	0	0	5.0	5.0	60.8	96.4	100	100
-10.0	0	0	0	5.6	54.0	99.8	100	100	100
-14.0	0	0	3.8	7.2	98.2	100	100	100	100
-18.0	0	0	3.8	6.4	100	100	100	100	100
-22.0	0	0.6	0	74.0	100	100	100	100	100

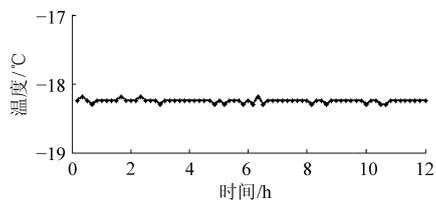


图 10 监测节点采集温度数据

Fig. 10 Temperature data sampled by sensor node

式中  $R_v$ ——RSSI 原始值, dBm

$R_o$ ——修正偏移, dBm

为避免单次测试的不稳定性, 应用统计均值对测量结果进行校正。计算公式为

$$\mu_{RSSI} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_i \quad (2)$$

式中  $k$ ——MAC 帧发送数量, 个

$R_i$ ——第  $i$  个数据帧的 RSSI 强度, dBm

设置通信频率为 2 475 MHz, 利用 9 种不同距离对 11 种发射功率进行测试, 每组发送 500 个 ( $k = 500$ ) 长度为 30 字节的 MAC 帧, 在接收端计算  $\mu_{RSSI}$  并统计丢包率, 结果如表 2 和表 3 所示。

测试结果表明,随着发射功率降低和通信距离增加,RSSI衰减趋势明显。在RSSI接近 $-100$  dBm时,丢包率显著增加。在通信距离 $30$  m的范围内, $-3$  dBm及以上的发射功率,均能保证 $8.4\%$ 以内的丢包率,数据传输比较可靠;而通信距离设置为 $60$  m时,即使设置射频前端为最大发射功率( $4.5$  dBm),丢包率仍达到了 $71.2\%$ 。因此,根据通信距离合理选择射频功率和路由成为提高系统可靠性和降低通信能耗的关键。

## 5 结论

(1)以CC2530片上系统为核心设计的水产品

冷链物流实时监测节点和协调器,通过ARM工控计算机实现与远程监控系统的实时数据传输,模拟了冷链物流运输阶段的移动数据采集需求,使监测系统能够运用于水产品冷链物流仓储运输的全过程。

(2)冷链环境系统测试表明,监测数据分布在 $(-18.25 \pm 0.06)$  °C区间内,传感器采样温度与变温箱设置温度之间的误差在SHT11传感器允许的误差限度以内,监测节点性能可靠。

(3)通信性能测试表明,在通信距离 $30$  m的范围内, $-3$  dBm及以上的发射功率,均能保证 $8.4\%$ 以内的丢包率,数据传输比较可靠。

## 参 考 文 献

- 成黎,谭锋. 中国水产品质量安全现状及改善和控制措施[J]. 食品科学,2009,30(23):465~469.  
Cheng Li, Tan Feng. Safety of aquatic products in China: a review on status quo, improvement and control measures[J]. Food Science, 2009, 30(23): 465~469. (in Chinese)
- 张倩,王迎宾,肖梁. 水产品质量安全检测体系的问题与对策探究[J]. 中国城市经济,2011(18):329~331.
- 张海涛,王锋,彭朝辉,等. 中国水产品流通渠道中的权力结构分析[J]. 中国水产,2009(5):27~30.
- 黄利伟. 我国农产品冷链物流发展的问题与对策研究[D]. 北京:中国农业科学院,2007.  
Huang Liwei. Research on the development problems of China's agricultural products in the cold chain logistics and counter measures[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2007. (in Chinese)
- 王杨,顾英男. 我国农产品冷链物流的研究[J]. 物流工程与管理,2010,32(9):4~5.  
Wang Yang, Gu Yingnan. The study of agricultural products cold chain logistics[J]. Logistics Engineering and Management, 2010, 32(9): 4~5. (in Chinese)
- Tan K K, Huang S N, Zhang Y, et al. Distributed fault detection in industrial system based on sensor wireless network [J]. Computer Standards & Interfaces, 2009, 31(3):573~578.
- 王翥,郝晓强,魏德宝. 基于WSN和GPRS网络的远程水质监测系统[J]. 仪表技术与传感器,2010(1):48~49.  
Wang Zhu, Hao Xiaoqiang, Wei Debao. Remote water quality monitoring system based on WSN and GPRS[J]. Instrument Technique and Sensor, 2010(1): 48~49. (in Chinese)
- Pierce F J, Elliott T V. Regional and on-farm wireless sensor networks for agricultural systems in Eastern Washington [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 61(1):32~43.
- Vellidis G, Tucker M, Perry C, et al. A real-time wireless smart sensor array for scheduling irrigation [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 61(1):44~50.
- López Riquelme J A, Soto F, Suardíaz J, et al. Wireless sensor networks for precision horticulture in Southern Spain [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 68(1):25~35.
- Soledad E D, Jesús C P, Alejandro C M, et al. A novel methodology for the monitoring of the agricultural production process based on wireless sensor networks [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 76(2):252~265.
- 张荣标,谷国栋,冯友兵,等. 基于IEEE 802.15.4的温室无线监控系统的通信实现[J]. 农业机械学报,2008,39(8):119~122.  
Zhang Rongbiao, Gu Guodong, Feng Youbing, et al. Realization of communication in wireless monitoring system in greenhouse based on IEEE 802.15.4 [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 119~122. (in Chinese)
- 何东健,邹志勇,周曼. 果园环境参数远程检测 WSN 网关节点设计[J]. 农业机械学报,2010,41(6):182~186.  
He Dongjian, Zou Zhiyong, Zhou Man. Design of WSN gateway nodes for remote detection of orchards environment parameters [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(6): 182~186. (in Chinese)
- 汤子瀛,哲凤屏,汤小丹. 计算机操作系统[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2001.
- Shahin Farahani. ZigBee wireless networks and transceivers[M]. Burlington:Newnes Publications, 2008.
- 孙佩刚,赵海,罗玎玎,等. 无线传感器网络链路通信质量测量研究[J]. 通信学报,2007,28(10):14~22.  
Sun Peigang, Zhao Hai, Luo Dingding, et al. Study on measurement of link communication quality in wireless sensor networks [J]. Journal on Communications, 2007, 28(10): 14~22. (in Chinese)