

基于 6LoWPAN 和 IPv6 的猪舍环境远程监测系统

胡国强, 杨彦荣

(西北农林科技大学 网络与教育技术中心, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 猪舍的环境是影响猪生产水平的重要因素之一, 为猪舍环境改善提供依据并提高猪的健康水平和生产效率, 结合 6LoWPAN 网络和 IPv6 网络的快速演进, 文章设计并实现了一种基于 6LoWPAN 和 IPv6 的猪舍环境远程监测系统; 该系统实现了无线传感器网络 (WSN) 与 IPv6 网络之间的点到点通信, 实现了猪舍内温度、湿度、光照强度、CO₂、H₂S、NH₃ 等环境因子实时监测; 文章详细描述了该系统硬件框架和软件框架实现过程, 最后基于 Visual C++ 6.0 和 MySQL 开发了猪舍环境远程监测系统的上位机管理软件, 并利用 Android Studio 开发了移动端猪舍环境远程监测 APP; 试验结果表明, 该系统能准确获取监测数据, 可满足猪舍环境远程监测的需求。

关键词: 6LoWPAN; IPv6; 猪舍; 监测系统

Piggery Environment Remote Monitoring System Based on 6LoWPAN and WLAN

Hu Guoqiang, Yan Yanrong

(Network and Education Technology center, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: Piggery environment is one of the important factors that affect the production level of pigs. In order to provide the basis for the improvement of piggery environment and improve the health and productivity of pigs, this paper, combining the rapid evolution of 6LoWPAN network and WLAN, designed a remote monitoring system of piggery environment on the basis of 6LoWPAN and WLAN. The system adopted 6LoWPA to implement the point to point communication between WSN and Internet, thus realizing the real time monitoring for environmental data of piggery environment, such as temperature, humidity, illumination intensity, CO₂ concentration, H₂S concentration and NH₃ concentration. This paper described in detail the realization process of the system's hardware framework and software framework, and developed the upper computer management software of remote piggery environment monitoring system based on Visual C++ 6.0 and MySQL. Furthermore, it also designed a mobile end piggery environment remote monitoring APP. Test results showed that the system developed can accurately acquire monitoring data and thus meet the demands of remote monitoring for piggery environment.

Keywords: 6LoWPAN; WLAN; piggery; monitoring system

0 引言

猪的生产水平大约 20% 取决于遗传, 40%~50% 取决于营养, 30%~40% 取决于环境条件^[1]。影响猪生长的环境因素包括温度、湿度、二氧化碳浓度、光照强度、有害气体等, 这些因素对猪的繁殖性能、仔猪成活率和生长机能等方面都有影响。为了提高猪的健康水平和生产效率, 可建立实时监测系统对猪舍环境信息进行采集与分析。养殖环境的监测与控制一直是国内外专家研究的热点, 国外例如: 美国、巴西、丹麦、加拿大起步较早, 利用多种信息技术已建立成熟的养殖环境信息监测系统。国内, 李立峰等设计了 1 种以工业组态 King View 为开发平台, 利用可编

程序逻辑控制器 (PLC) 实时监测猪舍温度、相对湿度和氨气浓度参数的测试系统^[2]; 周晨飞利用 ZigBee 技术设计了用于监测舍内环境数据的猪舍环境监测系统^[3]; 朱伟兴等使用 ZigBee 和 WIFI 网络实现了保育舍环境可视化调控系统^[4]; 梁万杰等基于改进后的低功耗自适应集簇分层型协议搭建了一个猪舍环境监测系统^[5]; 刘树香等利用 WSN 技术设计并实现了猪舍环境远程监测系统^[6]; 范留伟设计并实现了基于 STM32 的猪舍环境自动监控系统^[7]; 王娇娇为研究猪舍内环境因素的变化规律, 获取有害气体排放量及其浓度在猪舍中长时间和多测点的实时测量数据, 利用 Mesh 网络实现了猪舍环境监测系统^[8]; 李理等利用 ZigBee 物联网技术, 设计基于无线传感器的猪舍环境自动监控系统^[9]; 崔勇等采用 ZigBee 技术、PLC 机电控制技术、组态技术、物联网技术实现了对猪舍养殖环境进行远程自动控制^[10]。但是, 在上述这些研究中, 大都采用 ZigBee 技术和 Mesh 网络技术, 网络传输效率低、系统延迟大; 且都是 IPv4 网络, 还没有研究将 6LoWPAN 网络和 IPv6 网络应用于猪舍环境监测。

收稿日期: 2018-10-20; 修回日期: 2018-11-29。

基金项目: 赛尔网络下一代互联网技术创新项目 (NGII20170310)。

作者简介: 胡国强 (1981-), 男, 陕西周至人, 高级工程师, 硕士, 主要从事智能网络与机器学习方向的研究。

通讯作者: 杨彦荣 (1978-), 男, 陕西华阴人, 工程师, 硕士, 主要从事信息管理方向的研究。

实际部署中，随着传感器节点的增多，采用 IPv4 网络传输会必然牵涉到 IP 地址不够用地问题。为了满足物联网中海量节点对 IP 地址的需求，基于 IPv6 传输网络的物联网技术解决方案成为技术人员关注的热点。

6LoWPAN 具有适应性强、易开发、拥有海量 IPv6 地址、易接入 IPv4/IPv6 网络、易利用 IP 网络的技术进行发展的特性^[11]。考虑到 6LoWPAN 网络技术 IPv6 网络技术的优势，文章设计了一种基于 6LoWPAN 网络和 IPv6 网络技术的猪舍环境远程监测系统，该系统可实现猪舍环境内温度、湿度、光照强度、CO₂ 浓度、H₂S 浓度、NH₃ 浓度等环境因子实时监测。

1 系统总体设计

温度是猪舍主要环境因素之一，舍内温度过高或过低都会影响猪体健康和生产性能。初生仔猪、1 月龄断奶仔猪、空怀母猪、怀孕母猪、产仔后的母猪、种公猪对外界的温度要求均不相同。例如，空怀母猪的适宜温度是 16~19℃，而种公猪的适宜温度是 10~18℃^[12-13]。

猪舍内不同的环境温度会直接影响舍内相对湿度。猪舍内相对湿度太大同样也会影响猪的生产性能^[14]。光照强度对猪有促进新陈代谢、加速骨骼生长以及活化和增强免疫机能的作用^[15]，种公猪和肥育猪对光照没有过多的要求，但光照对繁育母猪和生长中的仔猪有重要影响。

养猪生产中产生的 CO₂、H₂S、NH₃ 等有害气体会对猪舍内动物及工人的健康产生一定影响。比如，NH₃ 排放到空气中引起土壤酸化、水体富营养化；H₂S 浓度太大时，会引起呼吸停止甚至死亡。为了对猪舍环境进行控制，有必要猪舍环境进行监测，以保证猪的健康生长及生态系统的稳定性。

1.1 系统实现的主要功能

(1) 实现 WSN 和 IPv6 网络的通信，实时获取猪舍环境信息。

(2) 猪舍内温度、湿度、光照强度、CO₂ 浓度、H₂S 浓度、NH₃ 浓度异常时及时告警。

1.2 系统的总体架构

系统总体架构分为为猪舍环境数据采集、猪舍环境数据传输、猪舍环境数据处理三大部分。

(1) 猪舍环境数据采集模块。

温湿度、光照强度、CO₂、H₂S、NH₃ 传感器跟 6LoWPAN 传感器节点一起负责采集猪舍内温湿度、光照强度、CO₂ 浓度、H₂S 浓度、NH₃ 浓度等环境数据，通过 6LoWPAN 网络将采集的环境数据发送给 6LoWPAN 边缘路由器。

(2) 猪舍环境数据传输模块。

由 6LoWPAN 边缘路由器将采集的猪舍环境数据通过 IPv6 网络上传至上位机监测软件。

(3) 猪舍环境数据处理模块。

由开发的上位机监测软件来处理猪舍环境数据，用户可通过 IPv6 网络访问该上位机以实现猪舍环境数据的实时监测。具体设计如图 1 所示。

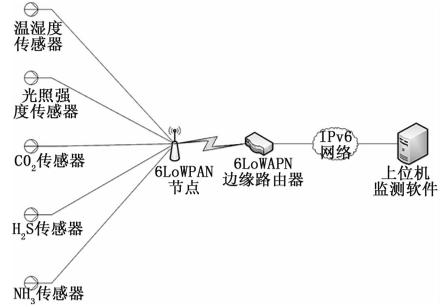


图 1 系统总体设计

6LoWPAN 无线传感器网络由 6LoWPAN 传感器节点和 6LoWPAN 边缘路由器组成，每个 6LoWPAN 传感器节点均配置有温湿度、光照强度、CO₂、H₂S、NH₃ 传感器；每个传感节点均可配置 IPv6 地址，整个 6LoWPAN 网络采用树形组网方式。6LoWPAN 无线传感器网络将采集的数据通过边缘路由器传输到 IPv6 网络，最终经过 IPv6 网络传输至上位机管理软件，上位机监测软件实时显示当前环境参数。猪舍环境异常时，可发出告警，提醒管理人员及时采取措施进行控制。

2 系统硬件设计

系统硬件设计包含两部分，6LoWPAN 传感器节点硬件设计和 6LoWPAN 边缘路由器硬件设计。

2.1 6LoWPAN 传感器节点硬件设计

6LoWPAN 传感器节点由主控制单元 MCU (main control unit)、RF (Radio Frequency) 收发器及传感单元组成，具体设计如图 2 所示。

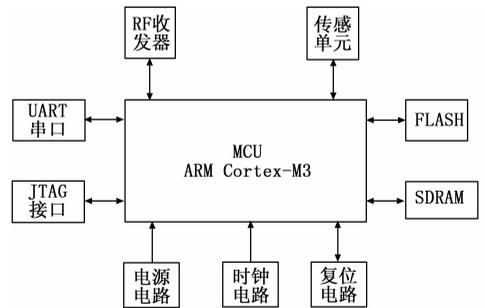


图 2 传感器节点硬件架构

文章选用 CC2538SF53 为主控制单元，其比 CC2530 运行更加稳定，接口更加丰富。RF 收发器同时连接 USB 转串口电路、时钟和复位电路。传感单元由温湿度、光照强度、CO₂、H₂S、NH₃ 传感器组成，主要负责采集数据，其选用型号如表 1 所示。

表 1 选用的传感器

传感器名称	产品型号
温湿度传感器	DHT21
光照强度传感器	GY-30
NH ₃ 传感器	ME3-NH3
CO ₂ 传感器	MH-Z14
H ₂ S 传感器	Solidsense 4H2S-100

2.2 边缘路由器硬件设计

文章采用双 MCU 架构来实现 6LoWPAN 边缘路由器, 即将 6LoWPAN 传感节点和支持 OpenWrt 的 Linux 开发板用串口连接起来, 这样的架构可以实现 6LoWPAN 网络和 IPv6 网络的相互通信。具体设计如图 3 所示。

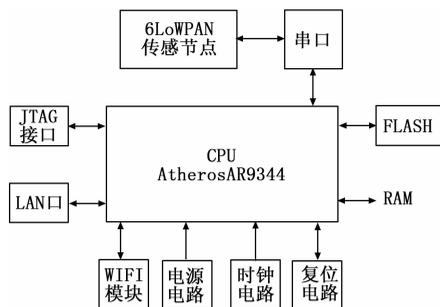


图 3 边缘路由器节点硬件架构

支持 OpenWrt 的 Linux 开发板文章选用 AR9344 为主控制单元, AR9344 主频高达 533MHz, 集成了一个 PCI-E Root Complex 及一个 PCI-E Endpoint 接口, 一个 MII/RMII/RGMII 接口, 并支持 SPI 接口的 Flash 和 NAND Flash^[16-17]。

3 软件设计

3.1 6LoWPAN 传感器节点软件设计

6LoWPAN 传感器节点和边缘路由器的软件设计基于嵌入式操作系统 Contiki, Contiki 由瑞典计算机科学院 Adam dunkels 团队以及 ETH 大学开发, 常用来实现无线传感器网络、物联网^[18]。6LoWPAN 传感器节点进行配置必须先移植 Contiki, 由于 Contiki 已经安装了 6LoWPAN 和 RPL 路由协议, 直接可以对 Contiki 相关代码进行覆写, 建立传感器网络。

6LoWPAN 传感器节点通电后, 首先启动 Contiki 系统, 系统初始化完成后可监听 6LoWPAN 边缘路由器的状态。一旦 RF 模块收到 6LoWPAN 边缘路由器发来的数据包, 则对收到的数据包进行解析。解析结果如果是采集指令, 则采集猪舍环境信息, 并通过 RF 模块发送给 6LoWPAN 边缘路由器; 解析结果如果是控制指令, 则执行该控制指令, 并将执行控制指令后各模块最终状态信息发送给 6LoWPAN 边缘路由器, 6LoWPAN 传感器节点软件工作流程如图 4 所示。

3.2 6LoWPAN 边缘路由器软件设计

6LoWPAN 边缘路由器软件分为两个部分, 即以太网功能模块软件与 6LoWPAN 功能模块软件。以太网功能模块端应用软件的开发基于 OpenWrt 的 Linux 系统, 主要创建两个任务, 第一个任务是将封装好的数据发送至 6LoWPAN 功能模块端; 第 2 个任务是接收并解析串口数据, 并通过 IPv6 网络发送到上位机监测软件。

6LoWPAN 边缘路由器通电后, 双系统进行初始化, 初始化完毕处于监听 UDP 端口信息状态, 等待上位机软件

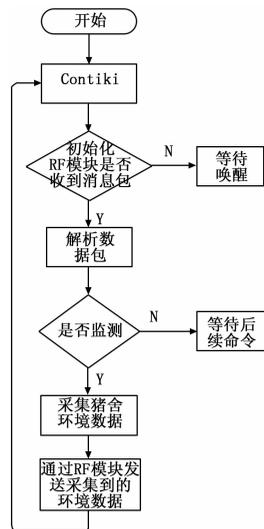


图 4 6LoWPAN 传感器节点软件工作流程

通过 UDP 端口发来的数据包。一旦接收到上位机软件发来的数据包, 先解析数据包, 然后将解析后的数据包由边缘路由器的 RF 模块发送给 6LoWPAN 无线传感网络, 最后 6LoWPAN 边缘路由器会将响应状态通过 IPv6 网络发送给上位机监测软件^[19], 具体流程如图 5 所示。

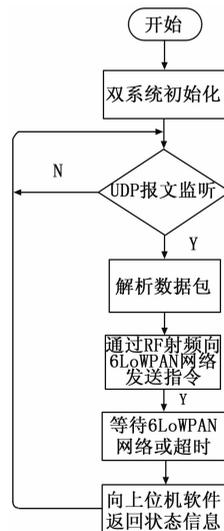


图 5 边缘路由器软件工作流程

3.3 上位机监测软件和移动端 APP 的设计与实现

上位机监测软件是猪舍环境实时监测的核心, 其部署在 PC 端。上位监测软件采用 Visual C++ 6.0 编程语言实现, 开发环境为 Visual C++ 6.0 的 MFC, 数据库采用 MySQL。上位机监测软件一方面负责向 6LoWPAN 边缘路由器发送采集指令, 同时在接收到 6LoWPAN 边缘路由器上传的环境数据时, 将环境数据存储到 MySQL 数据库。另一方面负责与访问上位机的移动端和 PC 端建立起远程通信, 以实现移动端和 PC 端远程获取环境监测数据。上位机监测软件还可以开发异常数据报警模块, 当获取的环境数据超过上位机预设的阈值时, 可发出报警, 提醒工作人员

及时处理。

上位机软件启动后,将初始化 Socket 网络和定时器,同时创建两个 Service 端口,一个端口负责与 6LoWPAN 边缘路由器进行通信,另一个端口负责与手机端 APP 进行通信。当网络处于正常工作状态时,定时器计数到设定的时间数时,上位机软件向 6LoWPAN 边缘路由器发送采集指令,当 6LoWPAN 边缘路由器接收到该指令后,进行数据采集、处理和打包,并通过 WIFI 模块传输给上位机软件,上位机软件接收该数据包后,对其进行解析是否上传正确,当数据正确时将其存储在 MySQL 数据库中。用户可通过移动端 APP 访问上位机来获取实时监测的环境数据。

移动端 APP 采用 Google 公司推出的 Android Studio 开发^[20]。移动端 APP 与上位机之间的网络采用 Http 通信方式,此通信采用的是“请求—响应”的方式,是一种“短连接”。移动端 APP 需要先与上位机建立连接,然后向上位机发送 Http 请求,上位机才会根据请求向移动端 APP 返回响应数据,并且在确认移动端 APP 收到返回的消息后,上位机就会主动释放连接。

4 系统测试

本系统在西北农林科技大学某场站养猪场进行测试试验,在该养猪场的保育舍内布置了 2 个 6LoWPAN 传感器节点,然后将温湿度传感器、光照强度传感器、CO₂ 传感器、H₂S 传感器、NH₃ 传感器连接到这两个 6LoWPAN 传感器节点,节点 1 配置的 IPv6 地址为:2001:250:1002:2002:9DF6:129B:7828:233C,节点 2 配置的 IPv6 地址为:2001:250:1002:2020:E557:99EF:FCEA:4380,将连通 IPv6 网络后的 6LoWPAN 边缘路由器放置在距离两个 6LoWPAN 传感节点 4 M 的地方,随后在测试移动端安装好上位机监测 APP,让其通过校内 IPv6 网络与 6LoWPAN 传感器网络建立通信。6LoWPAN 传感器节点和 6LoWPAN 边缘路由器加电后开始工作,节点 1 可在 30 s 内将采集的数据发送给 6LoWPAN 边缘路由器;节点 2 可在 28 s 内将采集的数据发送给 6LoWPAN 边缘路由器,6LoWPAN 边缘路由器可在 15 s 内将数据上传至上位机监测 APP,上位机监测 APP 接收到数据后,显示结果如图 6 所示。

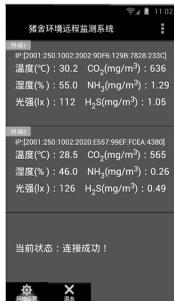


图 6 监测 APP 接收数据后显示界面

5 结论

文章基于 6LoWPAN 传感器网络技术和 IPv6 网络技术

设计开发了一套猪舍环境远程监测系统。该系统不但实现了猪舍内环境数据的远程监测和环境异常报警,而且能够持续获取猪舍环境监测数据,运行稳定,能满足猪舍环境远程监测需求。

参考文献:

- [1] 韩德强,冯云贺,王宗侠,等. Simics 环境下故障注入的研究与实现 [J]. 电子技术应用, 2015, 41 (1): 21-24.
- [2] 李立峰,武佩,麻硕士,等. 基于 PLC 和 KingView 的猪舍环境参数测试系统的研究 [J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2011, 32 (1): 182-185.
- [3] 周晨飞. 基于 Zigbee 无线传感网络在智能猪舍环境监测系统中的应用 [D]. 武汉: 武汉科技大学, 2011.
- [4] 朱伟兴,戴陈云,黄鹏. 基于物联网的保育猪舍环境监控系统 [J]. 农业工程学报, 2012, 28 (11): 177-182.
- [5] 梁万杰,曹静,凡燕,等. 基于无线传感器网络的猪舍环境监测系统 [J]. 江苏农业学报, 2013, 29 (6): 1415-1420.
- [6] 刘树香,杨璐,郑丽敏,黄圣文,张浩. 猪舍环境远程监测系统的设计与实现——基于 WSN 技术 [J]. 农机化研究, 2014, 36 (2): 102-105, 109.
- [7] 范留伟. 基于 STM32 的猪舍环境自动监控系统的设计 [D]. 杭州: 杭州电子科技大学, 2015.
- [8] 刘艳昌,左现刚,李国厚. 基于可编程逻辑控制器 (PLC) 的猪舍环境参数监控系统 [J]. 江苏农业科学, 2015, 43 (2): 377-380.
- [9] 李理,吴晓强,赵华洋,等. 基于无线传感器的猪舍环境监控系统设计 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016 (16): 57-59, 286.
- [10] 崔勇,翟旭军,孙健,等. 猪舍养殖环境远程自动监控系统研究 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016 (19): 123-125, 295-297.
- [11] 胡国强,鞠建伟,马来宏. 基于位置指纹和 6LoWPAN 的图书馆智能定位系统实现 [J]. 图书馆杂志, 2018, 37 (1): 93-100.
- [12] 简立桥,田志刚. 夏季母猪热应激的危害及应对措施 [J]. 山东畜牧兽医, 2015, 36 (4): 32-33.
- [13] 辛丰. 提高环境质量安全高效养猪 [J]. 草业与畜牧, 2011, (4): 32-34.
- [14] 孙铁. 猪的引种饲养管理及其配种技术 [J]. 吉林农业, 2011, (12): 203.
- [15] 李森阳,李进荣. 规模养猪场疫病防控的技术措施 [J]. 中国畜牧兽医文摘, 2015, 31 (2): 107-108.
- [16] 刘宁. 基于 MIPS 指令集的 RISC 微处理器数据通路的设计与实现 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
- [17] 正旗通信. Atheros AR9344 简介 [EB/OL]. <http://www.cajcd.edu.cn/pub/wml.txt/980810-2.html>, 1998.
- [18] 曾泽熠. 基于 CoAP 的家庭网络通信协议的设计与实现 [D]. 北京: 北京交通大学, 2013.
- [19] 胡国强. 基于 6LoWPAN 和 IPv6 的实验机房环境监测系统 [J]. 高校实验室工作研究, 2017 (2): 54-58.
- [20] 刘传忠. 基于 ZigBee 的无线智能家居控制系统研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2013.