

许佩全, 沈明霞, 刘龙申, 等. 基于 ECS 和 WSN 的猪舍环境监控平台设计与实现[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(1): 112-119.

基于 ECS 和 WSN 的猪舍环境监控平台 设计与实现

许佩全, 沈明霞, 刘龙申, 何灿隆, 康 健, 陶源栋
(南京农业大学 工学院/江苏省智能化农业装备重点实验室, 江苏 南京 210031)

摘要:【目的】在“互联网+农业”的大背景下, 实现对猪舍中的环境因子、图片信息采集等实时有效的监测和控制, 提高系统计算能力、数据存储能力, 提升系统可维护性、安全性, 降低运维成本。【方法】采用 MSP430F149 单片机和 CC1101 无线传输模块采集环境信息, 实现 Socket、Http 等网络通信, 使底层设备具有网络通信功能。综合利用阿里云(Elastic compute service, ECS)技术, 将系统部署在云端, 通过可编程逻辑控制器 (Programmable logic controller, PLC) 等电气装置监控猪舍。【结果】在 Web 端和手机终端上能够实时监测环境信息、监控猪舍画面, 可从上位机发指令远程调节猪舍内小环境。【结论】该系统稳定可靠, 服务器部署在云端可降低生产管理成本, 保证数据不丢失, 从而提高生产养殖的综合效益。

关键词: 猪舍; 环境监测; PLC 控制; 网络通信; ECS 技术
中图分类号: S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-411X(2018)01-0112-08

Design and implementation of piggery environmental monitoring system based on ECS and WSN

XU Peiquan, SHEN Mingxia, LIU Longshen, HE Canlong, KANG Jian, TAO Yuandong
(College of Engineering, Nanjing Agricultural University/Key Laboratory of Intelligent Agricultural Equipment of
Jiangsu Province, Nanjing 210031, China)

Abstract: 【Objective】 Under the background of “Internet+Agriculture”, to realize real-time and effective monitor and control of piggery environmental factors and picture information collection, improve computing and data storage performance, enhance system maintainability and security, and reduce operational cost. 【Method】 Environmental information was collected by MSP430F149 microchip and CC1101 wireless transmission module. Bottom devices had the function of network communication with the software of Socket and Http. The server system was deployed in the cloud using elastic compute service (ECS) technology comprehensively. The electrical installations such as programmable logic controller(PLC) were used to monitor and control piggery. 【Result】 Piggery real time information and environmental factors were obtained using web client and mobile app. The piggery microenvironment was adjusted by remotely control of host computer instructions. 【Conclusion】 The system works stably and reliably. The server system deployed in the cloud server can reduce the cost of production and management and store the data forever, which can improve the comprehensive benefit of pig raising.

Key words: piggergy; environment monitoring; PLC control; network communication; ECS technology

适宜的猪舍生长环境不仅可以降低猪只的疾病率, 提高养殖效率, 也符合福利养殖的生产需求^[1-2]。传统养殖业对猪只行为的监测和生产环境的调控大多采取人工观察和现场调控的措施, 不仅费时费力而且生产效率低, 禽畜的养殖环境越来越受重视, 自动化、智能化的生产需求也越来越迫切^[3]。随着电气技术和计算机技术的迅猛发展, 农业及畜牧业监测控制系统得到极大改善, 朱伟兴等^[4]提出了一套基于 Zigbee 无线技术的猪舍环境监控系统, 提高了猪舍环境监测的自动化水平。Banhazi 等^[5]分析了澳大利亚猪舍环境的影响因素, 提高了猪舍环境的自动化监测水平。Juanignacio 等^[6]提出基于 Zigbee 技术的无线传感网络定位用于牧场内牛只的监测。Lee 等^[7]探索了无线传感网络 (Wireless sensor network, WSN) 技术在农作物精细耕作中的运用。Zhang 等^[8]提出了基于 Zigbee 技术的温室监控系统无线解决方案。熊迎军等^[9]设计出应用于温室环境中的低功耗环境感知节点及 Web 智能温室管控系统, 能够精确采集、管控温室小气候。以上系统大多是基于本地服务器的 WSN 无线组网技术, 一般是在局域网内对环境小气候进行监测控制, 外网很难进行访问或者要付出高昂的固定 IP 费用, 系统的稳定性与机房质量密切相关, 本地服务器的数据中心总设备能耗与 IT 设备能耗之比 (Power wsage effectiveness, PUE) 较高, 无法做到自动故障恢复, 难以阻止物理地址 (Media access control, MAC)

欺骗和地址解析协议 (Address resolution protocol, ARP) 攻击, 同时也面临着服务器宕机、数据丢失、重新部署、扩容困难等问题。

在此基础上, 本研究提出一种基于阿里云服务器 (Elastic compute service, ECS) 和 WSN 技术的设施农业云平台架构, 可对猪舍环境进行数据处理分析、可视化精确监测及调节。平台应用物联网、Java 编程和互联网通信等技术, 在具有网络连接的条件下, 通过手机 app 或 Web 端实现猪舍内小环境的远程手动调节、视频流数据的实时查看和云端存储。以期做到数据在云端存储、信息在云端发布、服务在云端托管, 保证数据不丢失, 降低养殖业的生产管理成本, 提高生产养殖的综合效益。

1 系统总体架构

本系统主要针对苏淮猪种猪猪舍环境, 以无线传感网络为基础进行数据的采集、交互和传输, 采用云服务架构整合环境信息、云端监测、远程控制和图像采集为一体, 为不同种猪饲养基地提供综合性的服务。

系统主要分为以下 3 部分: WSN 子系统、CloudServer 子系统和视频监控子系统。系统整体架构如图 1 所示。其中猪舍内环境参数信息由无线传感网络感知节点测得, 采用 Simpliciti 无线树型自组织网络, 将环境数据发送到多功能数据汇聚模块进行信息的融合处理^[10-11], 通过网络发送给云服

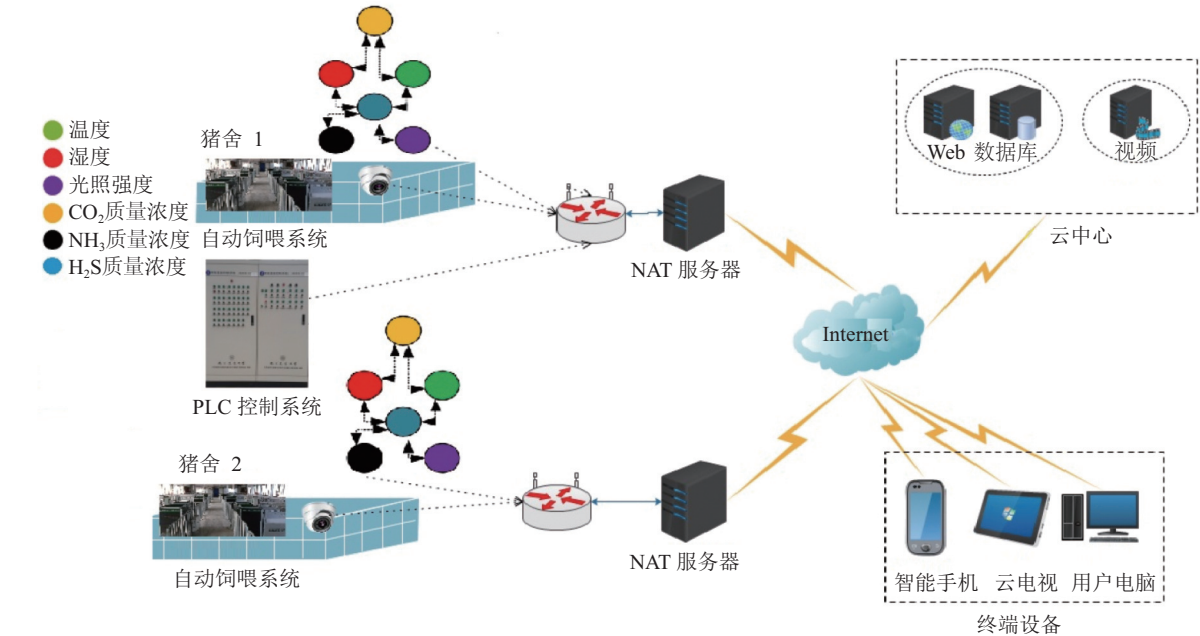


图 1 基于 ECS 和 WSN 的环境调控系统总体架构

Fig. 1 Overall framework of environment control system based on ECS and WSN

<http://xuebao.scau.edu.cn>

务器;远程控制由 Web 端或手机终端发起,通过 4G、Wifi 等途径与云服务器通信,云端核心程序利用内网穿透技术对可编程逻辑控制器(Programmable logic controller, PLC)控制系统发送指令驱动被控机构动作;网络视频监控综合运用了萤石云视频服务平台,对猪舍内视频数据进行整合存储,实现从数据到图像到视频信息的全面感知和监测。

2 方法

2.1 WSN 子系统

WSN 子系统包括无线传感网络和 PLC 远程控制 2 部分。无线传感网络是猪舍环境信息采集、处理的核心,分为感知模块、中继模块和多功能数据汇聚模块,采取多跳自组织网络形式,提供用户友好型的空气质量监测系统^[12],能够对猪舍的环境信息进行实时的监测、感知、采集和处理。上位机通过串口服务器对 PLC 下达指令,控制舍内机构动作。

2.1.1 SimpliTI 节点及无线网络设计 SimpliTI 网络协议是美国 TI 公司开发的低功耗网络传输协议,开发应用较其他协议更加灵活方便,对短距离无线通信有着很好的支持。它的工作频段较宽,相比 Zigbee 等技术,对硬件需求较少、数据的传输距离更远、传输速率更高、在功耗和成本上有着明显优势。通过 SimpliTI 自组织网络可有效减少猪舍内繁杂的布线,提高安全系数,同时为了适应大型猪场空间需求,进一步提高传输覆盖范围,采取中继节点组成的串状网络拓扑结构,延长数据传输距离。

根据 Deng 等^[13]提出的 Zigbee 无线传感网络节点设计,考虑到应用环境、应用成本和扩展性等问题,本系统节点采用微型控制器加射频芯片的架构。SimpliTI 无线网络主要分为 3 个部分: SimpliTI 感知模块、中继模块和多功能数据汇聚模块^[14-15]。SimpliTI 感知模块和中继模块采用 MSP430F149 微型控制器^[16],前者感知猪舍内小气候环境信息,后者是所在猪舍范围的扩展设备,负责接收传感器数据、设备状态信息,并转发给多功能数据汇聚模块。多功能数据汇聚模块的核心处理器采用意法半导体的 STM32 微型控制器,接收中继模块传来的数据,对数据进行融合处理,并通过串口服务器连接外部网络。整个系统的无线通信网络模块以 CC1101 射频芯片为核心,模块顶端留有所 IPX 接口转接外置天线。感知模块的工作流程如图 2 所示。

在猪舍环境信息处理上,为得到更加贴近真实的数据,采用多传感器自适应加权融合算法对数据进行融合处理。设要估计的真值为 X ,猪舍中布置 n 个

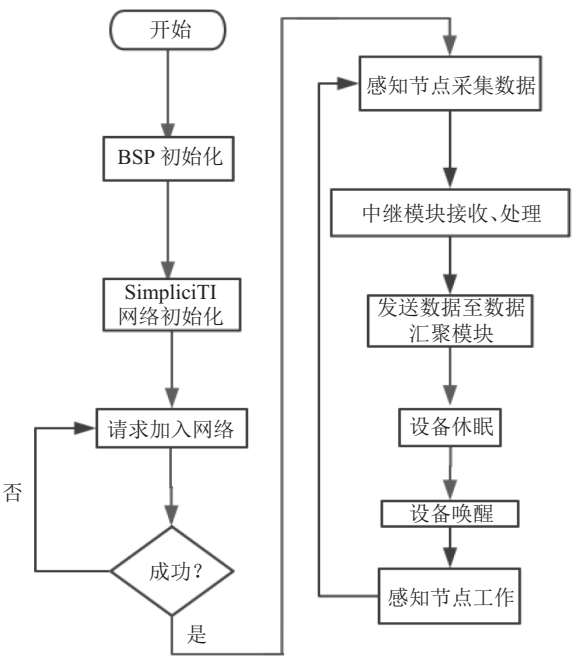


图 2 感知模块软件流程

Fig. 2 Flow chart of sensor node

感知节点,各传感节点的方差为 $\sigma_i(i=0,1,2,\cdots,N-1)$,各传感节点的测量值为 $X_i(i=0,1,2,\cdots,N-1)$,各数据间彼此独立且均为 X 的无偏估计。自适应加权融合的基本思想:每各传感节点均有对应的权重 $\omega_i(i=0,1,2,\cdots,N-1)$,在总体均方差 σ^2 最优(最小)的情况下,根据各传感节点测量值 X_i ,按照适应方式寻找最优化的 ω_i ,求得最优的融合结果($\hat{X}$):

$$\hat{X} = \sum_{i=0}^{N-1} \omega_i X_i,$$

这一过程的等价非线性规划为:

$$\begin{cases} \min & \sigma^2 = E\left[(X - \hat{X})^2\right] \\ & \sum_{i=0}^{N-1} \omega_i = 1 \end{cases},$$

针对目标函数:

$$\begin{aligned} \sigma^2 &= E\left[(X - \hat{X})^2\right] \\ &= E\left[\sum_{i=0}^{N-1} \omega_i^2 (X - X_i)^2\right] \\ &= \sum_{i=0}^{N-1} \omega_i^2 \sigma_i^2 \end{aligned}$$

当总均方差 σ^2 最小时,求得对应的 ω_i ,根据多元函数的拉格朗日定理可知上式中解的条件,即所求最优加权因子为:

$$\omega_j = \frac{1}{\sigma_j^2 \sum_{i=0}^{N-1} \frac{1}{\sigma_i^2}}, j = 0, 1, 2, \cdots, N-1,$$

通过最优加权因子可以求得每个传感节点方差 $\sigma_i(i = 0, 1, 2, \cdots, N - 1)$, 可以求得 X 的最优估计值 ($\hat{X}$):

$$\hat{X} = \sum_{i=0}^{N-1} \omega_i \overline{X_j(k)},$$

按照均方差作为算法融合精度的评价指标, 依据文献[17]的方法, 最优加权因子对应的均方误差 ($\overline{\sigma_{\min}^2}$) 计算公式为:

$$\overline{\sigma_{\min}^2} = \frac{1}{k \sum_{i=0}^{N-1} \frac{1}{\sigma_i^2}}.$$

2.1.2 PLC 远程控制设计 PLC 远程控制部分由 PLC 控制柜、被控机构和串口服务器等组成, 采取“一拖四”控制结构, 被控机构包括风机、循环风机、湿帘、电加热灯和排粪器等。根据上位机组态和被控机构等需求选取三菱 FX2N-128MR-001 型号的可编程逻辑控制器, CPU 的响应速率为 1 个基本指令需 0.08 μs 。PLC 通过 RS422 串口线与串口服务器相连, 进而连接到网络, 接收上位机发送的指令。程序梯形图在 GX Works2 平台上编写, 程序编译和写入的参数为 7 位数据位, 1 位停止位, 采取偶校验方式, 传输速率设为 9 600 $\text{bp} \cdot \text{s}^{-1}$ 。组地址指令

编码与输出 I/O 口相关, 设输出继电器 Y16 对应的内部继电器为 M16, 则转换规则如图 3 所示。

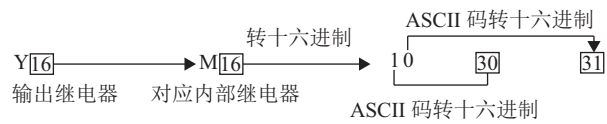


图 3 I/O 口与组地址转换规则

Fig. 3 Translation rules of I/O port and group address

2.2 CloudServer 子系统

建立猪舍云平台系统关键在于, 一实现实时监测猪只生产活动画面、调控猪舍内部小环境; 二由于猪舍内每天产生大量数据, 其复杂度高、直接利用率低, 将数据存储到云端可以为猪只生长环境监测、健康养殖、后续研究提供数据样本。因此本系统中服务器采用中国最大的云计算平台——阿里云 (Elastic compute service, ECS)。通过阿里云平台可以有效避免局域网内网关无法与公网 IP 服务器通信的问题, 也可为后期猪舍内大量数据的计算奠定基础。云端管理方式比物理服务器更加高效便捷, 可随时升级服务器而不丢失数据, 大幅提升运维效率, 降低生产成本。Web 客户端、中间件、数据库等核心部分部署在租用的若干台虚拟机上。云平台功能架构如图 4 所示。

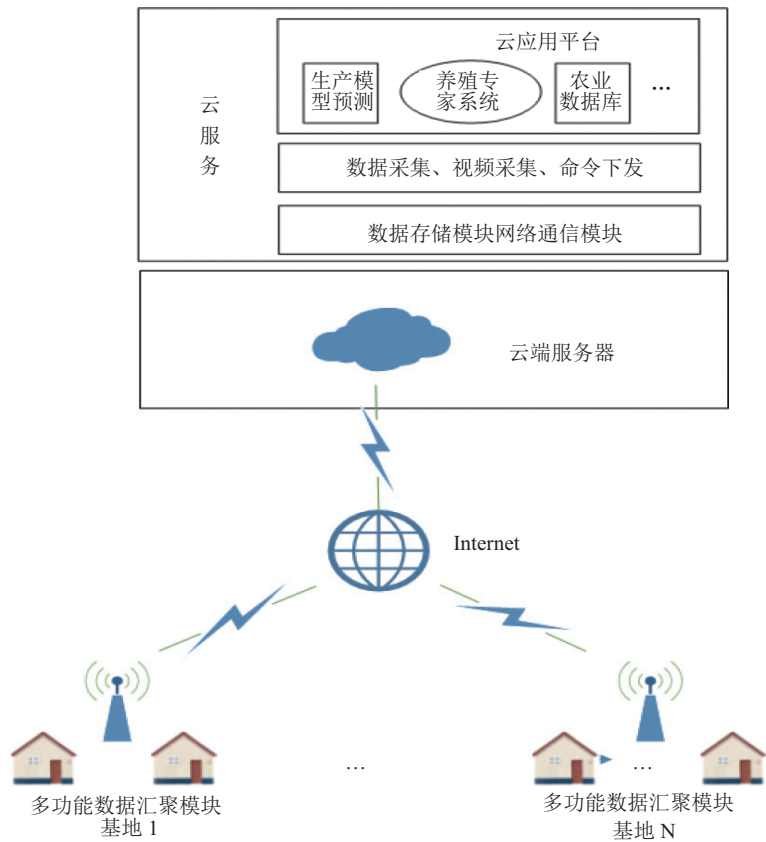


图 4 云平台功能架构图

Fig. 4 Functional architecture of cloud platform

2.2.1 中间件设计 中间件是云服务器与底层网关间进行数据接收、命令下达的中转站,本系统采用面向消息类型的中间件,为实现一套猪舍云平台管理系统对多个设施养殖基地同步管理的需求,综合利用了用户数据报协议(User datagram protocol, UDP)打洞技术,对内网进行穿透,实现底层设备与云端通信。在 MyEclipse 平台上采用纯 Java 语言进行编写,并生成可执行的 jar 包,用 Socket 接口实现网络异步通信。为了提高运行效率、避免信息堵塞采用多线程机制,同时对数据进行序列化处理并封装,采用 Socket 通信方式与底层设备建立连接,通过 Java 数据库连接(Java database connectivity standard, JDBC)技术建立与 mysql 数据库的连接,对底层发来的数据进行深一步的解析融合,通过

HashMap 数据结构解决代码辨识度不高的问题,实现查找时间复杂度为 $O(1)$,优化程序运行效率。

2.2.2 Web 平台设计 Web 平台分为 4 个功能模块:养殖监控模块、用户管理模块、养殖记录和专家决策模块。养殖监控模块的功能主要是通过可视化窗口实时显示猪舍内环境信息、猪舍内猪只活动情况和对猪舍内机构的远程控制。作为软件即服务(Software-as-a-service, SaaS)系统,通过用户管理科研模块对不同用户匹配不同权限,合理应用平台功能。养殖记录模块将猪只投料信息、入/出栏日期、健康信息、疾病信息等录入专职数据库。专家决策模块,运用人工智能技术,将种猪的科学养殖、疾病预防与诊断等信息植入系统。环境信息监控页面如图 5 所示。



图 5 环境信息监控页面

Fig. 5 Monitoring page of environmental information

基于 J2EE 搭建 Web 平台,采取轻量级的 SpringMVC 框架技术构建分层架构模式,将业务逻辑、数据和界面显示进行代码分离。Http 请求提交到 DispatcherServlet 控制器,控制器通过查询 HandlerMapping 找到对应的 Controller,调取相关业务模型进行处理,并返回到 ModelAndView,而后视图将结果返回至客户端。该方法综合利用了 JSP+Servlet+Java Bean 技术,使用 ECharts 图表库方法对数据进行可视化处理,采取创建交互式网页应用的网页开发技术(Asynchronous JavaScript and XML, AJAX)对数据进行异步加载,提高系统响应速度与交互性^[18]。SpringMVC 流程框架如图 6 所示。

2.2.3 Android 客户端 App 软件架构沿用模型-视图-控制器(Model view controller, MVC)设计思

想,通过 XML 和 Java 混合代码控制 UI 界面,采用 Http URL Connection 接口,实现轻量级的基于 URL 请求/响应功能与服务器进行稳定的数据交互。采用 SQLite 数据库对数据进行存储,SQLite 被设计成轻量级的、自包含的、不用配置、能够根据存入值自动判断、系统崩溃后不需做任何恢复操作,使用 T-SQL 语句编写 SQLite 数据库的“增删改查”等操作。App 内部的视频预览功能,采取接口调用方式,在 VideoActivity 类文件中,通过 PackageManager 类管理应用程序包,该对象绑定了 intent 事件,单击时调用海康威视的萤石云 App,进而实现远程对舍内猪只活动情况等的监控。

2.3 视频监控子系统

网络视频监控子系统主要由视频监控终端,萤
<http://xuebao.scau.edu.cn>

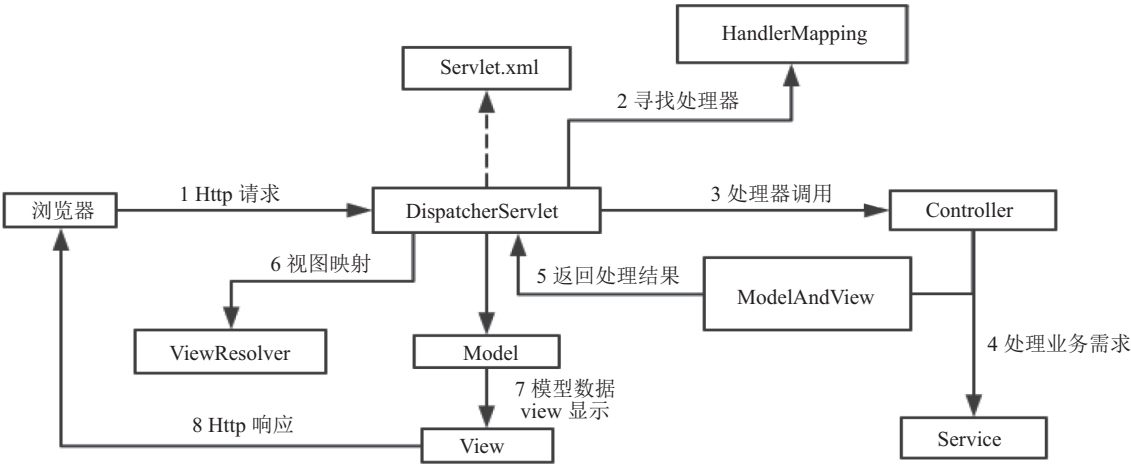


图 6 SpringMVC 流程框架图
Fig. 6 Flowchart of SpringMVC

石云服务, 网络硬盘录像机 (Network video recorder, NVR) 和用户终端 4 部分构成。网络视频监控系统机构如图 7 所示。借助海康威视的萤石云视频服务平台, 实现从数据到图像、音频和视频的全方位立体把控。视频监控终端采用海康威视的 DS-2CD3145F-IS 红外半球网络摄像机, 该款摄像机采

取 POE 供电, 分辨率达到 2 560×1 440, 红外照射可达 20 m, 实现全天 24 h 不间断音频、视频录制。猪舍内每个种猪活动区域部署 1 台半球机, 通过 6 类防屏蔽网线接入交换机。不同猪舍间的交换机采用光纤连接, 通过光纤接入本地 NVR 存储, 并通过网络上传至云端。

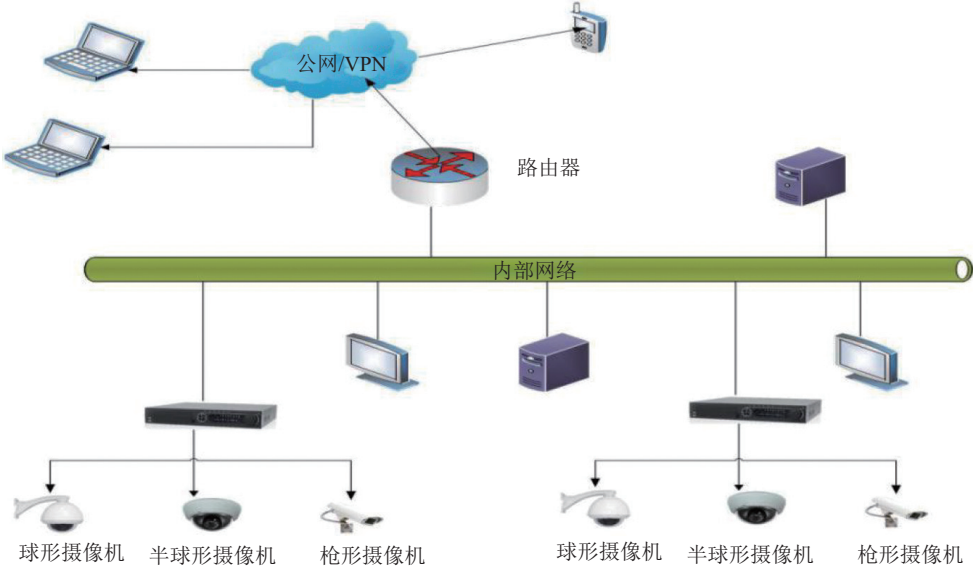


图 7 视频监控系统架构
Fig. 7 Architecture of video monitoring system

3 系统测试

3.1 测试环境部署

该体系在南京农业大学淮安研究院养殖基地进行实地测试, 选择 2 栋猪舍作为环境监测控制点。Web 和中间件发布在阿里云服务器上, 2 栋猪舍内的环境信息、视频信息等数据分别通过各自的光电交换机转换为光纤信号接入监控室机房, 进而上传至云端。猪舍为密闭式构造, 南北长度为 36.0 m, <http://xuebao.scau.edu.cn>

东西跨度为 11.9 m, 高度为 2.7 m, 采用双列式钢制围栏构造。在猪舍内距离地面 1.5 m 处、空间上呈三角形分布的 3 个点处分别布置 3 个“五合一”传感节点, 每个终端节点可以实现对温度、湿度、CO₂、NH₃ 和 H₂S 气体质量浓度的采集, 每 5 min 向多功能数据汇聚模块发送 1 次数据; 多功能数据汇聚模块安装在猪舍中间走廊的入口处, 负责接收、处理和转发猪舍内终端节点采集到的环境数据。

3.2 传感感知节点通信距离测试

无线传感网系统采用 CC1101 芯片, 其通信频率为 433 MHz。猪舍内距离地面 1 m 以上的空间比较开阔, 不存在信号遮挡。为验证丢包率与通信距离的关系, 将数据包的发送速度设定为 10 s^{-1} , 采用 2 个 SimpliTI 节点在不同距离下进行互相丢包测试, 单次发送数据包总量为 200 个, 节点间距设定为 5、10、15、20、25、30、40 和 50 m, 测试数据如表 1 所示。

经过测试通信距离在 20 m 以内, 数据丢包率很低, 即便在 50 m 通信范围内, 数据的接收率仍然为 98%, 而猪舍内直线间距离不超过 40 m, 因此采集终端节点与多功能数据汇聚模块间可实现正常的稳定通信。

3.3 猪舍云平台管理系统测试

系统软件部署在阿里云服务器上, 服务器相关配置为 8 核 16 G, Intel Xeon E5 CPU, DDR4 内存, $256\text{ MB}\cdot\text{s}^{-1}$ 吞吐量, 20 000 IOPS 随机读写性能。经过试验, Web 端能实时收到底层传感器发送数据以

表 1 通信距离与丢包率间关系
Tab. 1 Relationship between communication distance and packet loss rate

距离/m	发送数据包/个	接收数据包/个	丢包率/%
5	200	200	0
10	200	200	0
15	200	200	0
20	200	199	0.5
25	200	196	2.0
30	200	198	1.0
40	200	197	1.5
50	200	196	2.0

及实现对 PLC 控制机构的控制。在 WebPageTest 上对网站相关性能进行测试, 网页测试性能结果见表 2, 瀑布模型效率如图 8 所示。

3.4 系统其他测试

猪舍内电气控制机构 (风机等) 在手动控制下

表 2 网页性能测试结果 Tab. 2 Results of web performance test				文档完成参数			完全加载参数		
加载时间/s	首字节时间/s	开始渲染时间/s	速度指数	时间/s	请求数	页面大小/kb	时间/s	请求数	页面大小/kb
8.924	0.498	4.988	5 457	8.924	17	753	9.210	18	754

瀑布视图

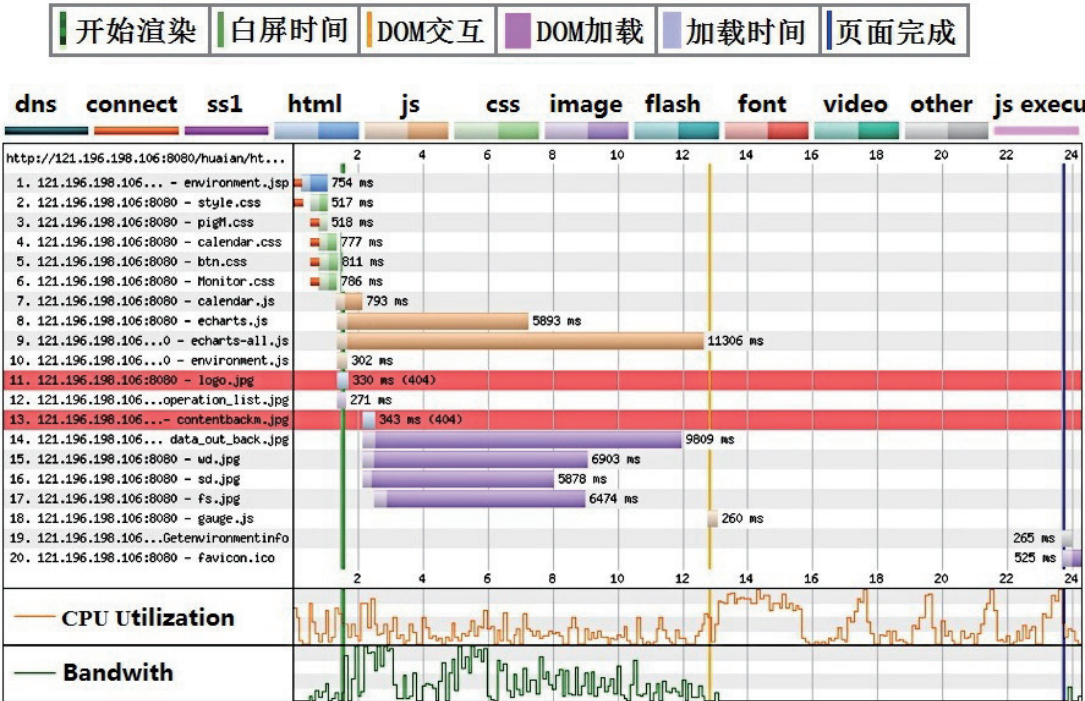


图 8 瀑布模型效率
Fig. 8 Efficiency of waterfall model
<http://xuebao.scau.edu.cn>

响应迅速,基本实现零延时,控制性能能够满足设施养殖环境调控需求。在网络通信流畅下,上位机及手机端下发指令顺畅,视频监控画面流畅无卡顿。整体上,各传感器的监测精度和电气机构的控制精度能够满足生产需求,数据传输稳定,组网时间短,功耗低。具体检验指标及结果如下:空气温度监测精度 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,空气湿度监测精度 $\pm 3\%$,二氧化碳、氨气、硫化氢浓度监测精度分别为 ± 30 、 ± 3 、 $\pm 2\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$,单节点平均功耗 $<30\text{ mW}$,机构控制延时 $<500\text{ ms}$,安卓客户端响应平均时间 $<800\text{ ms}$,温度控制精度为 $\pm 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$,湿度控制精度为 $\pm 4\%$,二氧化碳、氨气、硫化氢质量浓度控制精度分别为 ± 35 、 ± 5 、 $\pm 3\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$,自组网时间 $<1\text{ s}$,网关数据融合度 $>80\%$ 。

4 结论

本文阐述了基于 ECS 和 WSN 的猪舍环境监测控制系统的设计方法及流程,并通过实际测试进行了验证。试验结果表明,系统运行稳定,且通过搭建云端平台,降低了基地建设成本,在保证数据不丢失的情况下,拓展了人工监测范围,实现了底层设备与互联网终端、底层设备与用户间数据和信息的交换,实现了猪舍环境信息的采集、猪舍小气候的远程精准调控。在此基础上,该系统功能可以向农业大数据分析、自动饲喂等方向拓展,从而实现精准饲养的目标。

参考文献:

[1] 陈长喜,张宏福,王兆毅,等. 畜禽健康养殖预警体系研究与应用[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11): 215-220.

[2] 陆明洲,沈明霞,丁永前,等. 畜牧信息智能监测研究进展[J]. 中国农业科学, 2012, 45(14): 2939-2947.

[3] 王雷雨,孙瑞志,曹振丽. 畜禽健康养殖中环境监测及预警系统研究[J]. 农机化研究, 2012(10): 119-203.

[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] BANHAZI T M, SEEDORF J, RUTLEY D L, et al. Identification of risk factors for sub-optimal housing conditions in Australian piggeries: Part 1: Study justification and design[J]. J Agric Saf Health, 2008, 14(14): 21-39.

[6] JUANIGNACIO H, CARLOS M, HECTOR Y, et al. Zigbee-based wireless sensor network localization for cattle monitoring in grazing fields[J]. Comput Electron Agr, 2010, 74(2): 258-264.

[7] LEE W S, ALCHANATIS V, YANG C, et al. Sensing technologies for precision specialty crop production[J]. Comput Electron Agr, 2010, 74(1): 2-33.

[8] ZHANG Q, YANG X L, ZHOU Y M, et al. A wireless solution for greenhouse monitoring and control system based on ZigBee technology[J]. J Zhejiang Univ-Sc A, 2007, 8(10): 1584-1587.

[9] 熊迎军,沈明霞,刘永华,等. 混合架构智能温室信息管理系统的设计[J]. 农业工程学报, 2012, 28(S1): 181-185.

[10] 李建勇,刘雪梅,李洋. 基于 Simpliciti 的大棚温湿度无线监测系统[J]. 电子设计工程, 2015, 23(18): 173-175.

[11] 王浩,郑霖,刘争红. 基于 WSN 的 Simpliciti 协议移植和实现[J]. 计算机系统应用, 2014(1): 188-192.

[12] BANHAZI T M. Userfriendly air quality monitoring system[J]. Appl Eng Agric, 2010, 25(2): 281-290.

[13] DENG H B, ZHANG L. Design on Zigbee wireless sensor network node[J]. Key Eng Mater, 2011(474/475/476): 283-286.

[14] 张颖,李俊甫,杨臻. 基于 Simpliciti 协议的无线自组织网络系统设计[J]. 自动化仪表, 2012(9): 53-55.

[15] 季力. 基于 Simpliciti 协议的无线传感器网络设计[J]. 工矿自动化, 2012(1): 22-26.

[16] 刘承桥,张耀南,冯克庭,等. MSP430F149 的无线温湿度环境实时监测系统[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2015(5): 61-64.

[17] 卢庆林. 基于单片机 MPS430F 的无线通信系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2014(12): 74-77.

[18] 秦琳琳,陆林箭,石春,等. 基于物联网的温室智能监控系统设计[J]. 农业机械学报, 2015, 46(3): 261-267.

【责任编辑 霍 欢】