

群养奶牛体温实时监测系统设计与实现

屈东东^{1,2} 刘素梅^{1,2} 吴金杰¹ 李 阳² 王传忠²

(1. 农业部农业物联网技术集成与应用重点实验室, 合肥 230036; 2. 安徽农业大学工学院, 合肥 230036)

摘要: 将无线连接 WiFi 技术应用于群养奶牛体温实时监测系统, 实现了奶牛体温的智能化监测, 使奶牛的管理和监控更科学方便。利用 DS18B20 型数字温度传感器测量奶牛耳道边沿温度, 外部通过单线接口与 ESP - WROOM 模组进行双向通信。ESP - WROOM 模组在初次上电时, 必须通过 SmartConfig 通信协议获得要接入的 AP (Access point) 参数并将参数写入程序存储器中, 使之与 AP 建立连接。模组连接成功后, 温度传感器采集奶牛体温并传输给微处理器, 微处理器接到数据后打包相应参数通过 TCP 协议发送给数据服务器, MySQL 数据库分类储存每头奶牛的数据。使用 Java 语言编写人机交互界面可以查看相应数据库, 实现了奶牛体温变化的实时显示、温度补偿以及历史数据查询等功能。在群养奶牛中同时接收数量众多的体温数据时, 可能出现数据并发现象, 利用异步通信框架, 解决了数据并发问题。采用序时平均数算法更精确地描绘出奶牛体温变化曲线, 并且解决了个别数据异常导致曲线波动较大的问题。试验结果表明, 系统最佳传输距离在 80 m 左右时, 网络丢包率为 4.42%。该系统模块体积小、性能可靠、功耗低, 能够快速完成温度监测, 并且在 30 ~ 50℃ 温度范围内测试精度能够达到 ±0.2℃。

关键词: 奶牛; 体温; 监测; 无线传输; 物联网

中图分类号: S126 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)S0-0408-05

Design and Implementation of Monitoring System for Multiple Cows Body Temperature

Qu Dongdong^{1,2} Liu Sumei^{1,2} Wu Jinjie¹ Li Yang² Wang Chuanzhong²
(1. Key Laboratory of Technology Integration and Application in Agricultural Internet of Things, Ministry of Agriculture, Hefei 230036, China
2. School of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: The body temperature is one of the important parameters for cow health status and also is one of great significance reference for disease diagnosis and treatment. The data collection of cow body temperature by manual can't be real-timing and sometimes has errors so that brings a lot of difficulties to management. In view of development of computer technology and applications in the agriculture, based on the current mainstream of WiFi, a real-time monitoring system was applied to inspect the variation of cow body temperature. The digital temperature sensor DS18B20 was used to collect cow's aural temperature, communicated with ESP - WROOM module that was integrated Tensilica L106, 32-bit microcontroller (MCU), a 16-bit RSIC with the complete system and self-contained WiFi networking capabilities through one-wire connector. At the first time ESP - WROOM module must be configured by SmartConfig protocol with AP's (Access point) parameters which aiming to be slinked with AP. Once the connection was successfully established, the temperature data will be sent to MCU. After received, MCU packs data and parameters send to server through TCP protocol. And the data collected were stored in MySQL database respectively in different cows. The soft system programmed with Java language can

achieve real-time acquisition, storage, display and inquiry of cow's temperature data. The asynchronous communication models in view of Java NIO class were used to solve the masses of service requests delivered and the request congestion excluded. The results of experiment showed that errors of the proposed device were $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ with the range of $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$, the proper transfer distance of sensor node was 80m, and the loss rate of network passage was 4.42%. The power consumption was decreased with collecting time and sleep mode. It is proved that the characteristic of low-power, small bulk, high precision of sample can be provided and applied practically.

Key words: cow; body temperature; monitoring; WiFi transmission; internet of things

引言

随着科学技术的发展,传统的奶牛养殖方式正逐步向现代化的精细智能化养殖生产方式转变。在养殖过程中,实时掌握奶牛身体状态和健康情况迫在眉睫,而体温是反映奶牛身体状态最具代表性的生理参数之一。本文设计一套具有模块体积小、性能稳定、可远程实时监测的系统,利用物联网技术^[1-3],实现对多目标群养奶牛的智能化识别、确认、跟踪、监控和管理,以满足奶牛养殖场实时监测的需要^[4-5]。

1 系统总体设计

基于 WiFi 技术,利用物联网技术和实时控制系统实现对奶牛养殖场多目标群养奶牛体温等健康参数的实时监测和中央集成化管理^[6-7]。奶牛体温实时监测系统结构如图 1 所示。该系统将数字温度传感器 DS18B20 置于奶牛耳道,用来采集奶牛温度。接入控制器(Access controller, AC)负责管理区域内无线网络中的多个无线访问节点(Access point, AP),利用 ESP-WROOM 模组与 AP 建立连接(模块是终端),连接成功之后,通过 TCP 协议把采集到的数据发送到数据服务器端。在客户端上利用 Java 语言编写的图形界面实时显示奶牛温度,当温度超过设置参数时报警。系统利用 WiFi 技术建立远程稳定的实时控制系统,可减轻工作人员的劳动强度,实现奶牛体温的智能化检测,提高奶牛养殖场的自动化程度^[8-10],达到可推广应用的目的和 $30 \sim 50^{\circ}\text{C}$ 温度范围内测试精度达到 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 的目标。

2 硬件系统设计

2.1 温度采集装置

温度采集装置主要由塑胶外壳、电路板、体温采集传感器、纽扣电池、可拆卸扎带组成。机构简图如图 2 所示。为了适应奶牛耳朵尺寸的差异,采用可拆卸扎带,根据不同的耳朵尺寸采用不同的扎带,以防止脱落。体温采集传感器通过医用白色胶布粘贴

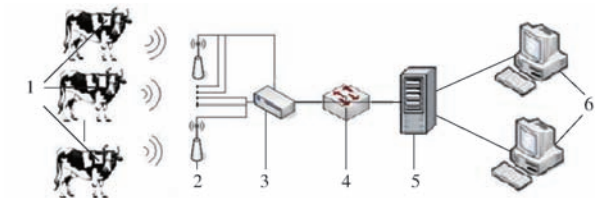


图 1 奶牛体温实时监测系统结构示意图
Fig. 1 Structure diagram of monitoring system for cow's temperature

1. 采集体温装置 2. 无线覆盖 AP 群 3. AC 控制器 4. 核心交换机 5. 数据服务器 6. 客户端

固定在奶牛耳道边沿。选择耳道边沿位置,是因为耳道边沿温度对核心体温反映最快。装置能源来自于标准电压 3.7 V 的纽扣电池,容量为 1 500 mA。塑胶外壳的外观尺寸(长×宽×高)为 22 mm×20 mm×5 mm,使用 2 dBi 的 PCB 板载天线。并且外壳平整的一面可以粘贴代表奶牛身份的二维码。

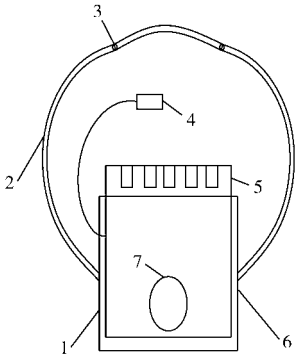


图 2 温度采集装置简图
Fig. 2 Schematic diagram of temperature acquisition device
1. 外壳 2. 可拆卸扎带 3. 拆卸接口 4. 温度传感器 5. 电路板内置天线 6. 电路板 7. 纽扣电池

2.2 温度传感器

DS18B20 型数字温度计可提供 9 位(二进制)温度读数。指示器件的温度信息经过单线接口送入 DS18B20 或由 DS18B20 送出,从微处理器到 DS18B20 仅需一条线再加上地线,DS18B20 的电源可由数据线本身提供,不需要外部电源。温度敏感器件 DS18B20 测量范围为 $-55 \sim 125^{\circ}\text{C}$,增量值为 0.5°C ,可在 1 s(典型值)内把温度转换成数字。DS18B20 型传感器具有体积小、精度高、连接方便、占用微处

理器接口少等优点^[11-12]。

2.3 ESP-WROOM 模组

ESP-WROOM 模组集成了增强版的 Tensilica L106 钻石系列 32 位内核处理器,支持实时操作系统(Real time operating system, RTOS),能实现完整且自成体系的 WiFi 网络解决方案,能够搭载软件应用,集成天线开关、电源管理转换器。当作为设备中唯一的处理器搭载应用时,能够直接从外接闪存中启动,内置的高速缓冲存储器有利于提高系统性能,并减少内存需求。当作为外部设备时,可作为 WiFi 适配器,通过通用异步收发传输器(UART)或者系统总线(CPU AHB)桥接到任何基于微控制器的设计中,为其提供无线上网服务,简单易行。ESP-WROOM 模组具有强大的片上处理和存储能力,使其可通过通用输入(GPIO)接口集成传感器及其他应用的特定设备,具有前期开发成本低和系统运行时占用资源少的优点^[13]。图 3 所示为 ESP-WROOM 模组和温度传感器连接示意图。

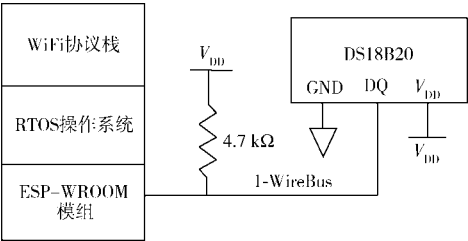


图 3 ESP-WROOM 模组和温度传感器连接示意图
Fig. 3 Schematic diagram of connection between sensor and ESP-WROOM

3 软件系统设计

以 Eclipse 4.5 为开发环境,采用 Java 语言编写应用程序,数据库选用开放源代码的关系型数据库管理系统 MySQL。软件主要由人机交互界面、数据库操作设计、通信设计 3 个模块构成。在微处理器上运行实时操作系统(RTOS)具有及时响应和高可靠性的优点。软件设计过程中综合考虑了软件设计和硬件的合理融合,将硬件功能软件化,充分利用程序的模块化、通用性和可移植性的特点,提高了程序模块的利用率^[14-15]。

3.1 数据采集模块程序设计

数据采集模块运行在实时操作系统上,初次上电时需要通过 SmartConfig 协议配置连入 AP 参数,包含 AP 的名称、密码、连接方式、奶牛编号等,实时操作系统初始化时需要把这些参数写入 WiFi 协议栈,使其与相应 AP 建立连接。利用数字温度传感器 DS18B20 采集奶牛温度,采用一线通信接口与 32 位微处理器连接,系统通过指令读取温度。采集

到的数据经过加工处理通过 TCP 协议发送到数据服务器端。

3.2 数据服务器与人机交互界面程序设计

数据服务器端和人机交互界面都采用 Java 编程语言,通过 JDBC 接口与 MySQL 数据库建立连接,实现数据库的增删检查,并把相应的数据状态显示在查看界面上。数据库与温度采集模块通过 WiFi 连接,数据服务器端通过 Java 的 socket 类建立等待模块的连接,为了解决数据并发问题,必须为每个连入的模块开辟一个进程,模块连接成功后,会通过 TCP 协议把相应数据传给数据库。一旦数据发送完毕,为了节省能源,温度采集装置立即进入休眠状态,在低功耗下,数据服务器端会通过心跳机制检测此测温模块是否掉线。异常数据和状态可显示在查看界面上,同时给出相应的报警信息。流程图如图 4 所示。

4 系统调试与数据分析

为了验证系统数据传输的稳定性和可靠性,并且找出温度采集装置采集的温度与标准温度之间的补偿系数,设计了 2 个试验。

4.1 试验 1

为了更准确地找到补偿系数,需要多次测试温度采集装置,通过装置采集的大量数据找出其共同特性。从大量温度采集装置中随机抽取 10 个进行测试,把装置放在恒温箱内,温度设置为 38℃(奶牛一般正常体温为 37.5~39.5℃),测试时间持续 2 min,共测试 10 个相同装置,每个装置测温反应时间在 750 ms,1 s 发送一次数据,共采集 240 个数据。利用 Matlab 软件进行数据分析。

图 5 为温度随时间变化曲线。由图中的测试数据可以得出,在数据值趋于稳定区域,测量误差满足正态分布,即:测量温度值满足对称性、单峰性、有界性。当剔除测试错误值(数值跳动过大)只考虑测量误差时,可认为测试值总是在实际值附近上下浮动,测试平均值会很接近真实值。随着测试次数的增加,随机误差的算术平均值趋于零。可以采用基于正态分布的误差处理方式对误差进行处理,即评估测试数据的算术平均值及标准差。由于 Matlab 软件提供了强大的数据处理功能,本文借助该软件完成数据分析。

利用 Matlab 中的 fopen 函数导入数据,fscanf 函数读出数据,再利用 reshape 函数和 linspace 函数描绘出数据的包络线。从图 5 中可以看出:标准温度值设置为 38℃时,测得的温度值基本上都在 38℃上下波动。开始阶段,温度波动很大,且与设置温度相

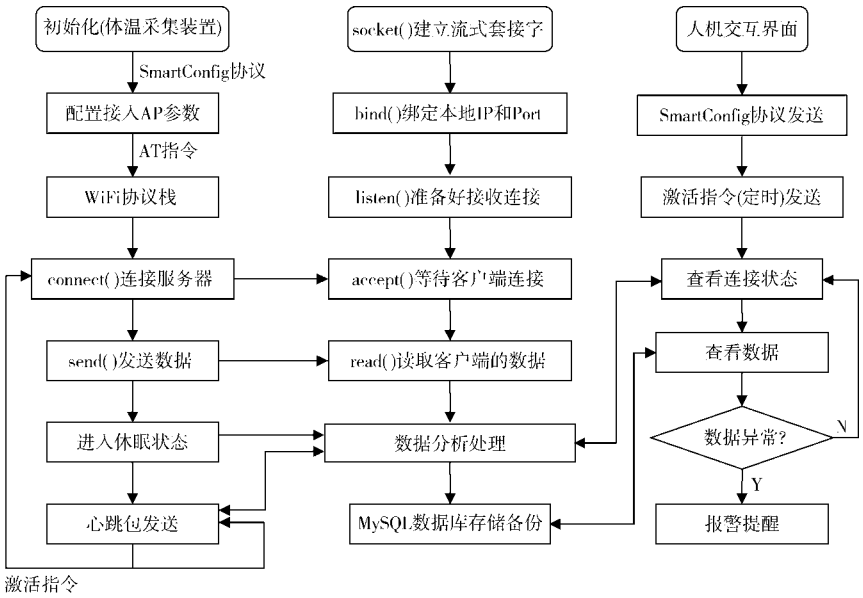


图 4 软件模块设计流程图

Fig. 4 Flowchart of software module design

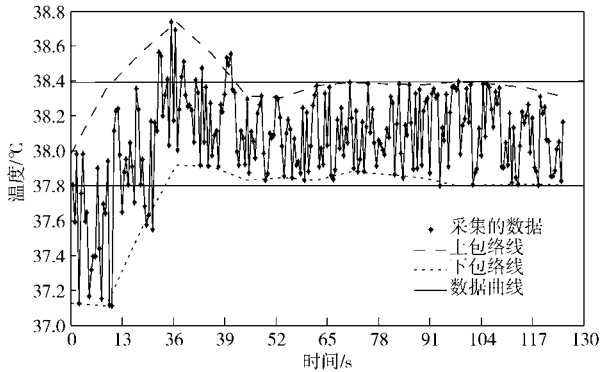


图 5 温度随时间变化曲线

Fig. 5 Curves of temperature with time

差很大,是因为时间短,温度传感器尚未达到新环境温度的稳定状态,还处于上个环境温度到新环境温度的过渡阶段。经过 40 s 后测温数据值趋于稳定,通过图 5 中的网格和包络线,可以看出测试温度在 37.8 ~ 38.4℃ 之间变化,把温度补偿系数设置为 -0.1℃ 时,则测温精度能够达到 ±0.3℃。在数据

服务器上处理数据时采用实时平均数算法,即计算动态数列中各时刻的发展水平的平均值,连续取 5 个点,去掉其中最大值和最小值,然后取平均值。由于测试数据结果是在一定范围内上下波动的,更易于趋向实际值,反应实际状况,使测温精度达到 ±0.2℃。

4.2 试验 2

能体现系统传输数据稳定性的指标之一就是在不同地点测试传输数据的丢包率。试验场地选择在某养殖场,一共测试 4 个模块,每隔一定距离放置一个测试模块,每个测试模块与 AP 的距离如表 1 所示。

测温系统设置为每 6 s 定时发送一次测温数据包,测温数据包由装置编号和温度组成,分别由 5 个字节组成,测试时间持续 1 h。共采集 10 × 4 × 60 = 2 400 个字节。利用网络调试助手接收数据保存,然后导入编程语言环境,计算丢包率,具体数据见表 1。

表 1 传输数据丢包率

Tab. 1 Packet loss rate of data transmission

模块编号	Uart 波特率/ (位·s ⁻¹)	测试包数/ 个	发送字节数/ 个	发送间隔/ s	接收字节数/ 个	距离/m	丢包率/ %
1	9 600	2 400	12 000	6	11 970	50	0.25
2	9 600	2 400	12 000	6	11 496	80	4.42
3	9 600	2 400	12 000	6	10 085	100	15.96
4	9 600	2 400	12 000	6	6 215	110	48.21

测试结果表明,传输距离在 80 m 之内是可接受的,超过此范围,数据传输丢包率过大,原因在于远距离无线信号丢失,温度采集装置需要重新启动,重新建立连接,因此会一直在原地循环,直到建立连接。此连接过程消耗的能量不容忽视。在实际应用

中,在厂房中建立网桥或者使用中继器,可以解决此问题。

基于 Java 语言编写的控制面板如图 6 所示。
奶牛一般正常体温为 37.5 ~ 39.5℃,当有奶牛温度高于或低于正常体温时,系统会给出对应奶牛

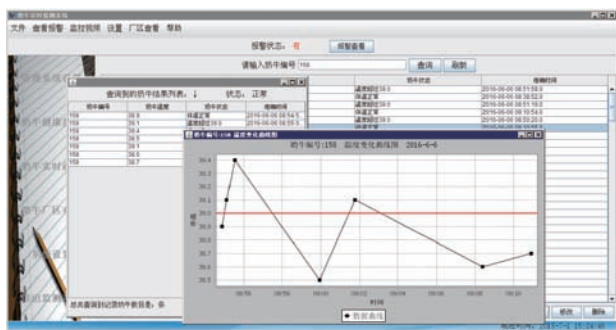


图6 奶牛实时监测部分系统控制面板

Fig.6 Part of monitoring control panel of cow temperature

编号和奶牛实时温度变化情况,同时予以报警打印,并且可以调取视频观察奶牛情况。

试验证明此测温模块可以满足设计需求,可以推广到奶牛体温实时监测系统中,有助于奶牛产业的现代化管理,也是物联网技术在现代奶牛养殖业的又一应用。

的又一应用。

5 结束语

设计了基于无线 WiFi 的群养奶牛体温监测系统,并阐述了系统软硬件设计方案,设计了基于 Tensilica L106、32 位 MCU 和超低功耗的 16 位 RSIC 的无线传输硬件装置,设计了基于 Java 语言的软件系统,分析了系统在相应温度下的补偿系数,测试了相关距离的丢包率。试验结果表明系统精度误差为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$,系统最佳传输距离在 80 m 左右,网络丢包率为 4.42%,通过建立网桥或者使用中继器可以增加传输距离和减少网络丢包率。通过设置不同的采集时间间隔和设置间歇休眠状态可以有效降低测温节点功耗,提高节点纽扣电池寿命。测温装置总体满足实际需求。

参 考 文 献

- 葛文杰,赵春江. 农业物联网研究与应用现状及发展对策研究[J]. 农业机械学报,2014,45(7):222-231.
GE Wenjie, ZHAO Chunjiang. State-of-the-art and developing strategies of agricultural internet of things[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(7):222-231. (in Chinese)
- FRANCISCO G Montoya, JULIO Gomez, ALEJANDRO Cama, et al. A monitoring system for intensive agriculture based on mesh networks[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013, 99(8):14-20.
- 何勇,聂鹏程,刘飞. 农业物联网与传感仪器研究进展[J]. 农业机械学报,2013,44(10):216-226.
HE Yong, NIE Pengcheng, LIU Fei. Advancement and trend of internet of things in agriculture and sensing instrument[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2103, 44(10):216-226. (in Chinese)
- 高峰,卢尚琼,徐青香,等. 无线传感器网络在设施农业中的应用进展[J]. 浙江林学院学报,2010,27(5):762-769.
GAO Feng, LU Shangqiong, XU Qingxiang, et al. Wireless sensor networks and its application in facility agriculture[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2010, 27(5):762-769. (in Chinese)
- 李栋. 中国奶牛养殖模式及其效率研究[D]. 北京:中国农业科学院,2013.
LI Dong. Study on efficiency and model of dairy cattle breeding[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013. (in Chinese)
- 刘锦,张岩,张荣辉. 基于物联网构架的温室环境监测系统[J]. 河北农业大学学报,2013,36(3):115-119.
LIU Jin, ZHANG Yan, ZHANG Ronghui. Greenhouse environmental monitoring system based on the structure of the internet of things[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2013, 36(3):115-119. (in Chinese)
- LI J Z, ZHANG C L, FANG J L. Design on the monitoring system of physical characteristics of dairy cattle based on zigbee technology[C]//IEEE Proceedings of the 2009 International Conference on Computer and Computing Technology Applications in Agriculture, 2010.
- 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.
ZHU Weixing, DAI Chenyun, HUANG Peng. Environmental control system based on IOT for nursery pig house[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(11):177-182. (in Chinese)
- 范永存,张喜海,李建泽. 奶牛体温监测系统数据采集终端设计[J]. 东北农业大学学报,2012,43(8):48-52.
FAN Yongcun, ZHANG Xihai, LI Jianze. Design of data gathering terminal for dairy cattle body temperature monitoring system[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2012, 43(8):48-52. (in Chinese)
- 贾北平,马锦儒,李亚敏. 奶牛体温无线收发数据采集系统的设计与实现[J]. 农机化研究,2008,30(7):99-101.
JIA Beiping, MA Jinru, LI Yamin. Design and realization of a wireless data collection system for milk-cow body temperature[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008, 30(7):99-101. (in Chinese)
- 农勇,郑宗亚,刘志杰. 单总线数字温度传感器 DS18B20 原理及应用[J]. 贵州师范大学学报:自然科学版,2007,25(3):119-122.
NONG Yong, ZHENG Zongya, LIU Zhijie. The principle and application of 1-wire digital temperature sensor DS18B20[J]. Journal of Guizhou Normal University: Natural Sciences, 2007, 25(3):119-122. (in Chinese)
- 李丽华,陈辉,于尧. 基于无线传输的蛋鸡体温动态监测装置[J]. 农业机械学报,2013,44(6):242-246.
LI Lihua, CHEN Hui, YU Yao. Dynamic monitoring device of hens temperature based on wireless transmission[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(6):242-246. (in Chinese)
- Espressif Systems IOT Team. ESP8266EX Datasheet [EB/OL]. (2015-06-01)[2016-06-30]. <http://www.doc88.com/p7448298154666.html>.
- COSTA A, ISMAYILOVA G, BORGONOVO F. Image-processing technique to measure pig activity in response to climatic variation in a pig barn[J]. Animal Production Science, 2014, 54(8):1075-1083.
- 田颖,刘军. 基于无线传感器网络的体温测量系统设计[J]. 中国集成电路,2010(10):54-59.
TIAN Ying, LIU Jun. Design of temperature measurement system based on wireless sensor network[J]. China Integrated Circuit, 2010(10):54-59. (in Chinese)