

doi: 10.6041/j.issn.1000-1298.2022.02.031

基于物联网技术的奶牛瘤胃 pH 值和温度监测系统研究

赵继政^{1,2} 庄蒲宁^{1,2} 石富磊^{1,2} 陆成^{1,2} 董正奇^{1,2}

(1. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西杨凌 712100;

2. 农业农村部农业物联网重点实验室, 陕西杨凌 712100)

摘要: 针对目前传统检测方法实施难度大、易交叉感染的问题, 设计了奶牛瘤胃 pH 值和温度无线检测单元、Sub-1G 无线传输网络和阿里云实时显示界面, 实现了奶牛瘤胃 pH 值和温度的连续监测。瘤胃检测单元采用 LabSen331 pH 值复合电极进行 pH 值检测, 采用 Pt1000 铂电阻进行测温。信号调理电路使用 AD8603 运算放大器, 模数转换电路使用 AD7792。核心控制电路使用 STM8L151 微控制器, 通过 315 MHz 无线信号传输数据到项圈中继节点。无线传输网络基于 TI-15.4 协议实现。数据经项圈节点中继后, 由数据集中器通过串口通信发送给物联网网关。通过 4G 网络, 网关按照 MQTT 协议将数据传输至阿里云。本文进行了 pH 值和温度测量准确性、检测单元功耗、无线传输网络可靠性等验证试验和现场监测试验。验证试验结果表明, pH 值测量误差小于 ± 0.02 , 温度测量误差小于 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$, 检测单元使用 $2\ 200\ \text{mA}\cdot\text{h}/3.6\ \text{V}$ 锂电池供电, 检测间隔设为 10 min 时, 电池寿命可达 1 800 d, 无线传输网络可在 180 m 内可靠传输。现场试验结果表明监测系统记录值和人工测定瘤胃液 pH 值之间具有良好的相关性 ($r=0.961$, $P<0.05$), 本文设计的监测系统可以连续监测奶牛瘤胃 pH 值和温度的变化, 为奶牛健康监测和精准饲喂提供参考。

关键词: 奶牛瘤胃; 温度监测; pH 值监测; Sub-1G 组网; 低功耗微控制器

中图分类号: TP393.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2022)02-0291-08

OSID:



Design and Experiment of Rumen pH value and Temperature Monitoring System for Dairy Cows Based on Internet of Things

ZHAO Jizheng^{1,2} ZHUANG Puning^{1,2} SHI Fulei^{1,2} LU Cheng^{1,2} DONG Zhengqi^{1,2}

(1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. Key Laboratory of Agricultural Internet of Things, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Rumen pH value and temperature are key indicators of rumen fitness. It is difficult to implement traditional measurement, and the traditional rumen pH value measurement trends to cause cross infection. A wireless measurement unit for rumen pH value and temperature was designed. A star Sub-1G wireless network was also designed to monitor multiple cows. An Alibaba Cloud interface was developed to display rumen pH value and temperature. The wireless measurement unit used LabSen331 pH electrode to measure pH value and employed Pt1000 to sense temperature. AD8603 operational amplifier and AD7792 analog-to-digital converter were used to amplify and convert signal. STM8L151 microcontroller was employed to process data. The data was transmitted to collar node with 315 MHz wireless signals. Wireless transmission network was built based on TI-15.4 protocol. When data was acquired by a collar node, it was further sent to the collector. The collector sent data to gateway through UART. The gateway transmitted data to Alibaba Cloud through 4G network according to MQTT protocol. pH value and temperature measurement accuracy, power consumption of measurement unit, and reliability of wireless transmission network were examined. The error of the pH value measurement was less than ± 0.02 . The temperature measurement error was less than $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$. The measurement unit used a $2\ 200\ \text{mA}\cdot\text{h}/3.6\ \text{V}$ lithium battery for power supply. When the measurement interval was set to be 10 min, the battery was able to work more than 1 800 days. The range of reliable wireless signal transmission was about 180 m. Test in dairy farming showed a significant correlation between the recorded

收稿日期: 2021-10-15 修回日期: 2021-11-22

基金项目: 陕西省重点产业创新链(群)-农业领域项目(2019ZDLNY02-05)

作者简介: 赵继政(1982—),男,副教授,博士,主要从事基于物联网的畜禽生理信息智能采集系统研究, E-mail: zhaojizheng@nwsuaf.edu.cn

values of the monitoring system and the manually measured pH value of the rumen liquid ($r = 0.961$, $P < 0.05$). The monitoring system was able to monitor the changes of rumen pH value and temperature continuously, which provided reference for the fitness monitoring and the strategy of precision feeding.

Key words: rumen; temperature monitoring; pH value monitoring; Sub-1G wireless network; low power microcontroller

0 引言

畜牧业是农业的重要组成部分,是国民经济的基础性产业^[1]。近年来,我国奶牛养殖产业化程度不断加深^[2]。在规模化养殖中,饲养员难以实现对每头奶牛健康状况进行精细化监管,如果奶牛体征异常发现不及时,容易产生较大经济损失^[3]。因此,奶牛健康状况的自动监测是提升奶牛养殖管理水平的关键手段。

瘤胃是奶牛前消化系统的重要组成部分。瘤胃 pH 值和温度是瘤胃功能正常与否的重要指标^[4]。在规模化奶牛养殖中,为提高牛奶产量,饲喂过程中大量添加高淀粉、高蛋白质、低纤维的精饲料^[5]。精饲料发酵过程中,产生大量挥发性脂肪酸,引起奶牛瘤胃 pH 值降低^[6]。当瘤胃 pH 值低于 5.0 时,奶牛发生急性瘤胃酸中毒,临床症状明显^[7]。当瘤胃 pH 值低于 5.6 且每天持续时间超过 3 h^[8]或低于 5.8 超过 5~6 h^[9]时,奶牛将发生亚急性瘤胃酸中毒(Subacute ruminal acidosis, SARA)。规模化养殖场中,SARA 发病率较高^[10-11]。SARA 的早期临床症状不明显,难以发现。后期不仅会影响奶牛的采食量和产奶量,而且会诱发瘤胃炎、跛行、肝脏脓肿、腹泻等疾病,增加奶牛的淘汰率,降低养殖收益^[12-13]。研究表明瘤胃温度和奶牛体温存在显著相关^[14],而体温是奶牛健康状况的直接生理指标。因此,监测奶牛瘤胃 pH 值和温度可为精准饲喂和管理提供直接的参考依据。

传统瘤胃 pH 值测定方法有瘤胃穿刺法^[15]、口腔胃管法^[16]和瘤胃瘘管取样法^[17-18]。体温测量主要使用温度计测定直肠温度。传统检测主要依赖人工开展,费工费时,不能满足规模化奶牛养殖普遍、精准测量的需求^[19]。目前,国外多项研究机构和公司开发了瘤胃 pH 值和温度连续监测的设备。

早期产品采用有线装置连续测量瘤胃 pH 值^[20]。随后,PENNER 等^[21]设计了留置式瘤胃 pH 值和温度测量设备。在测量完成后,取出设备,再连接计算机读取数据。之后,MOTTRAM 等^[22]设计了一种无线瘤胃 pH 值连续监测设备,可连续监测 35 d 以上,该设备无线信号传输可靠性需要进一步提高。SATO 等^[23]设计的无线瘤胃 pH 值测量系

统,测量误差在 ± 0.2 内。在瘤胃温度测量方面,KIM 等^[24]连续监测瘤胃温度,用于奶牛乳腺炎的早期发现。TIMSIT 等^[25]开发了瘤胃温度传感器,以检测犊牛的呼吸系统疾病。国内研究对瘤胃 pH 值和温度监测设备的研发做了初步探索。文献[26]设计了连续检测反刍动物瘤胃液 pH 值的有线设备。该设备需要奶牛在固定位置,限制了奶牛的自由活动。目前,在无线瘤胃 pH 值和温度实时监测系统研发方面,国内尚无商用产品。

本文针对传统检测方法存在的不足,设计一种基于物联网技术的奶牛瘤胃 pH 值和温度监测系统。该系统的 pH 值和温度检测单元长期放置在奶牛瘤胃内,通过无线通信方式将数据传输至云平台进行数据存储和管理,实现瘤胃 pH 值和温度的连续监测,为奶牛健康监测和精准饲喂提供参考。

1 系统总体设计

奶牛瘤胃 pH 值和温度监测系统需要实现对瘤胃 pH 值和温度的连续检测、数据无线传输、云端数据存储显示等功能。系统结构框图如图 1 所示,主要包括瘤胃 pH 值和温度检测单元、无线数据传输网络(包括项圈中继节点和数据集中器)、数据存储和管理云平台。具体工作过程如下:检测单元获取瘤胃 pH 值和温度后,通过 315 MHz 无线信号将数据传输至项圈中继节点。项圈中继节点通过 TI-15.4 协议进行无线组网,数据集中器汇集各项圈节点数据。物联网网关通过串口接收集中器汇集的数据,然后通过 4G 网络按照 MQTT 协议将数据传输

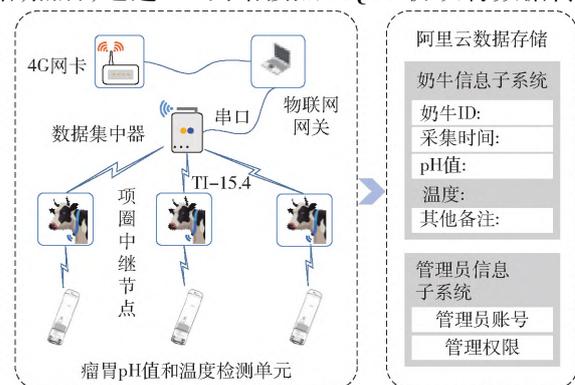


图 1 瘤胃 pH 值和温度监测系统结构框图

Fig. 1 Structure diagram of rumen pH value and temperature monitoring system

至阿里云平台。云平台将数据解析后,实现网络端实时可视化显示。

2 系统软硬件设计

2.1 瘤胃 pH 值和温度检测单元设计

检测单元包括信号检测、控制和数据存储、无线数据传输和电源模块。其中,信号检测模块包括 pH 值复合电极、Pt1000 铂电阻、信号缓冲和转换电路。电路采用 3.6 V 锂电池进行供电。硬件组成框图如图 2 所示。

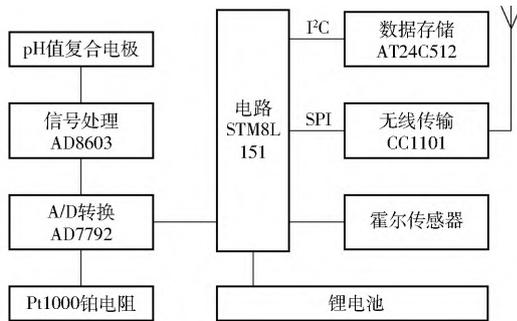


图 2 瘤胃 pH 值和温度检测单元硬件组成框图

Fig. 2 Hardware diagram of rumen pH value and temperature measurement unit

2.1.1 瘤胃 pH 值测量原理

瘤胃 pH 值检测采用电位测量法,pH 值复合电极由氢离子敏感玻璃电极和参比电极组成,通过测量两个电极之间的电压计算 pH 值。电极电压遵循能斯特方程^[27-28]

$$E_x = E_0 - \frac{2.303RT}{F}(pH_x - pH_s) \quad (1)$$

式中 E_x ——测量电位,V

E_0 ——标准电极电位,V

T ——热力学温度,K

R ——气体常数,8.314 J/(K·mol)

F ——法拉第常数,9.649 × 10⁴ C/mol

pH_x ——待测溶液 pH 值

pH_s ——标准 pH 值

标准 pH 值为 7 时,标准电极电位为 0 mV。

瘤胃 pH 值测量电路选用上海三信 LabSen331 pH 值复合电极。该电极采用预加压聚合物参比系统,无需添加电解液,测量时对放置方向没有要求。同时,电极采用开放式隔膜设计,可以避免堵塞问题。pH 值测量范围为 0 ~ 14。

2.1.2 温度测量原理

温度传感器采用两线制 Pt1000 铂电阻,用于瘤胃的温度测量和 pH 值测量的温度补偿。Pt1000 铂电阻对导线电阻不敏感,且在本设计与测量电路间直接相连,导线电阻引入的误差可以忽略。

Pt1000 铂电阻的电阻与温度的换算公式^[29]为

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \quad (2)$$

其中 $A = 3.9083 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

$$B = -5.775 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

式中 t ——温度,°C

$A、B$ ——IEC751 国际标准系数

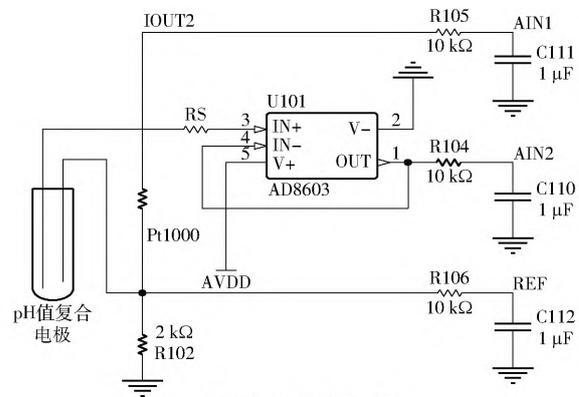
R_t ——温度为 t 时铂电阻的电阻,Ω

R_0 ——0°C 时铂电阻的电阻,为 1 000 Ω

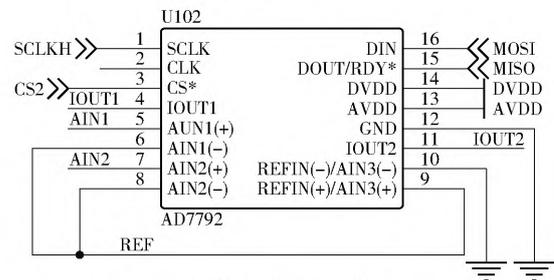
选用 A 级 Pt1000 铂电阻,其允许的温度误差为 ±(0.15 + 0.002| t |),| t | 表示温度的绝对值^[30]。

2.1.3 数据采集电路设计

LabSen331 pH 值复合电极内阻典型范围为 10⁷ ~ 10⁸ Ω,要求测量电路具有足够高的输入阻抗。本设计选用 ADI 公司的 AD8603 作为电压跟随器对 pH 值复合电极输出电压进行缓冲。AD8603 最大输入偏置电流为 1 pA。以 LabSen331 最大内阻 10⁸ Ω 计算,产生最大误差为 0.1 mV。信号采集电路原理图如图 3a 所示。



(a) 信号采集电路原理图



(b) A/D 转换电路原理图

图 3 检测电路原理图

Fig. 3 Schematic of signal acquisition

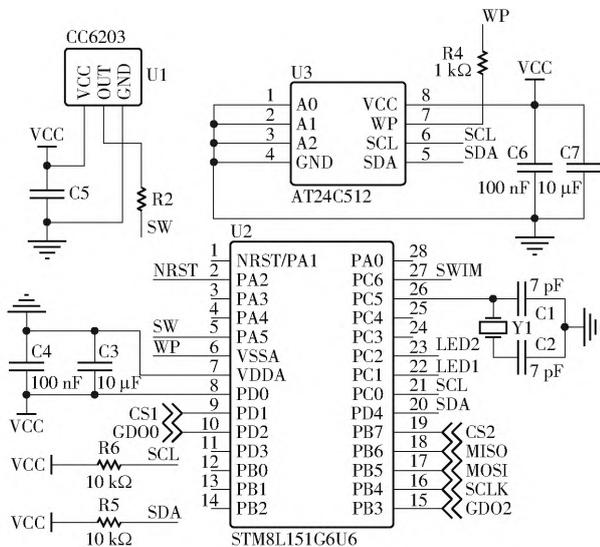
模数转换器选用 ADI 公司的 AD7792。AD7792 具有 SPI 接口、16 位有效分辨率、3 通道差分模拟输入和两个内置电流源。本设计中,通道 1 用于检测 Pt1000 铂电阻产生的电压,通道 2 用于检测 pH 值复合电极产生的电压。AD7792 内置电流源 2 输出 210 μA 激励电流流入 Pt1000 和 2 kΩ (±0.05%) 电阻组成的串联组合,在 2 kΩ 精密电阻两端产生 420 mV 的电压作为 AD7792 的基准电压。AD7792

工作模式下电流为 130 μA , 省电模式下电流为 1 μA , 符合电路低功耗设计需求。A/D 转换电路原理图如图 3b 所示。

考虑到实际应用, pH 值检测范围设置为 4 ~ 10, 根据式(1)可知, pH 值电极会产生 $\pm 177\text{ mV}$ 的电压。pH 值分辨率 0.01, 对应电压约为 0.6 mV。温度检测时, Pt1000 铂电阻在 210 μA 激励电流下, 0.05 $^{\circ}\text{C}$ 温度变化产生的电压约为 0.04 mV。AD7792 可分辨 0.013 mV 电压, AD7792 分辨率能够达到要求。

2.1.4 主控电路和数据存储电路设计

控制和数据存储电路原理图如图 4 所示。为减小电路功耗, 微控制器 (Microcontroller unit, MCU) 选用意法半导体的 STM8L151。该芯片基于 8 位 STM8 内核, 采用超低漏电流工艺, 能够有效降低功耗。在本设计中, STM8L151 在工作模式和使用实时时钟 (Real-time clock, RTC) 唤醒的休眠模式之间切换。在休眠模式, 电流为 1.4 μA 。



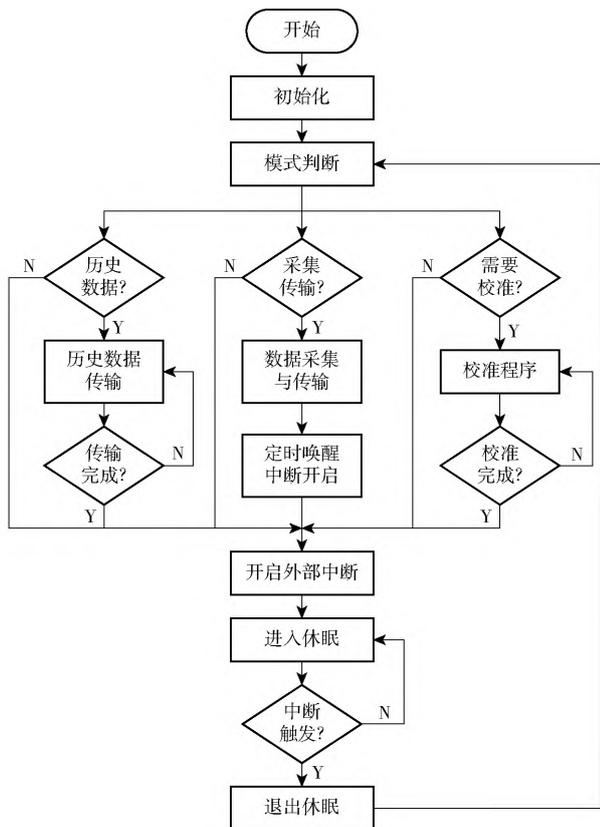


图 6 瘤胃 pH 值和温度检测单元程序框图
 Fig. 6 Software flow diagram of rumen pH value and temperature measurement unit

式。检测单元检测间隔时间可以预先设定。在完成数据采集与传输后,程序进入休眠。程序按照检测间隔时间进行定时,利用 RTC 定时中断触发新一次的数据采集与传输。在任何模式下,如果连续触发霍尔传感器 15 s 以上,检测单元进入历史数据传输程序,可以一次读取 AT24C512 芯片的所有数据。

2.2 无线传输网络设计

2.2.1 无线传输网络硬件设计

无线传输网络包括项圈中继节点和数据集中器两部分。项圈中继节点在降低瘤胃 pH 值检测单元功耗的同时实现数据远距离传输。数据集中器负责建立和维护无线传输网络。无线传输网络采用 Sub-1GHz 频段进行组网。本设计选用基于 IEEE802.15.4 协议的 TI-15.4 协议组建无线传输网络。

项圈中继节点和数据集中器主芯片均采用 TI 公司的 CC1310。芯片内部集成了超低功耗射频收发器与 48 MHz Cortex-M3 微控制器。在本设计中,CC1310 无线传输频率设定为 433 MHz,传输速率为 50 kb/s,输出功率为 14 dBm,接收灵敏度为 -110 dBm。项圈中继节点和数据集中器实物如图 7 所示。

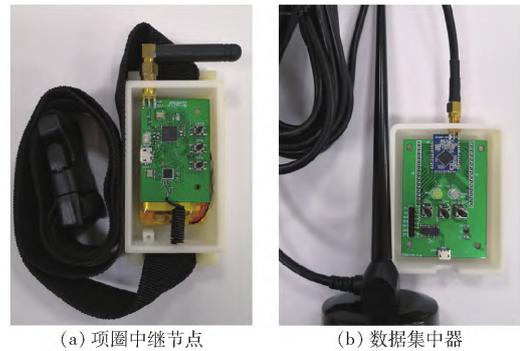


图 7 项圈中继节点和数据集中器实物图

Fig. 7 Collar node and data collector

2.2.2 无线传输网络程序设计

本设计在 TI-15.4 协议栈程序的基础上增加瘤胃数据采集程序,实现多头奶牛的实时监测。TI-15.4 协议使用星型拓扑结构,支持信标模式、非信标模式以及跳频 3 种网络通信模式。本设计中,无线传输网络使用非信标模式。数据集中器在初始化完成后,首先进行能量扫描,确定干扰最小的信道。然后,扫描该区域已有网络,选择合适的网络参数建立网络。项圈中继节点在初始化完成后广播信标,数据集中器响应信标后,项圈中继节点加入网络。项圈中继节点数据传输状态完成后,进入休眠以降低功耗。在接收到瘤胃 pH 值和温度检测单元上传的数据后,对数据进行处理,并通过无线传输网络上传到数据集中器。数据集中器始终打开,不发送周期性信标,实时侦听来自项圈中继节点的信号。数据集中器收集各项圈中继节点数据后,通过串口通信发送给物联网网关。无线传输网络程序框图如图 8 所示。

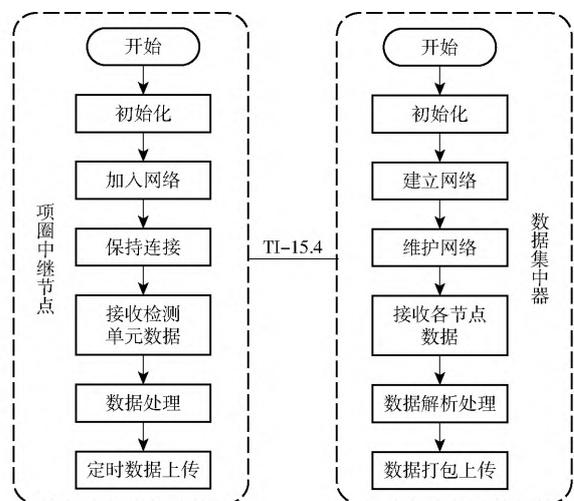


图 8 无线传输网络程序框图

Fig. 8 Software flow diagram of wireless transmission network

2.3 物联网网关和显示界面设计

本设计采用阿里云作为云端数据的存储处理中心。本地物联网网关程序运行在 Ubuntu 16.04 主

机上,接收到数据集中器传输的数据后,对数据进行处理,通过4G网络以MQTT协议将数据包发送给云平台。显示界面使用IoT Studio可视化开发工具进行设计。云平台根据数据包中的设备凭证解析数据包并建立实际设备和虚拟设备的连接。工作人员通过显示界面实现实时数据、历史记录查询等数据的分析工作。云平台实时显示界面如图9所示,主要有4部分:登录界面、设备管理、实时数据显示和历史数据查询。



图9 云平台实时显示界面

Fig.9 Interface of cloud platform real-time monitoring

3 系统测试

3.1 pH值测量准确性试验

在实验室环境下,以校准后的标准pH计(上海三信仪表厂, SX811-WW型, ± 0.01)测量溶液的pH值为真实值,在pH值4~10范围内配制10种不同pH值溶液。首先将盛有溶液的烧杯放置到恒温水浴锅中,温度设定为39℃。瘤胃pH值和温度检测单元校准后,将检测单元和标准pH计同时插入烧杯中,pH计读数在10 min内不发生变化,记录此次测量结果。

试验对3个检测单元分别进行测试。pH值真实值与检测单元测量值的对比结果如表1所示。测量结果显示检测单元的pH值测量绝对误差为 ± 0.02 ,且一致性良好。

3.2 温度测量准确性试验

为验证温度测量准确性,选用精密直流电阻箱(上海正阳仪表厂, ZX76P型, $\pm 0.01\%$)作为Pt1000的等效电阻。奶牛瘤胃内正常温度在39℃左右,奶牛饮用冷水后,瘤胃内温度会下降到30℃左右,在一段时间后恢复到正常水平^[32]。故测试范围设定在25~50℃。根据Pt1000铂电阻温度、电阻对照表,在测试范围内每隔5℃设定电阻箱电阻。

测试结果如表2所示,设计测温电路的测量误差为 ± 0.05 ℃。在测温范围内,将以上试验测量结果与Pt1000铂电阻的允许温度误差相加,测温精

表1 pH值测量准确性试验结果

Tab.1 Results of pH value measurement accuracy

序号	真实值	检测	检测	检测	最大误差绝对值
		单元1	单元2	单元3	
1	4.25	4.25	4.24	4.25	0.01
2	4.88	4.87	4.88	4.88	0.01
3	5.13	5.13	5.12	5.13	0.01
4	5.52	5.53	5.50	5.52	0.02
5	5.98	5.98	5.97	5.96	0.02
6	6.42	6.42	6.40	6.41	0.02
7	6.95	6.96	6.94	6.95	0.01
8	7.72	7.73	7.71	7.72	0.01
9	8.75	8.76	8.74	8.75	0.01
10	9.18	9.18	9.18	9.18	0

表2 温度测量准确性试验结果

Tab.2 Result of temperature measurement accuracy

序号	设定温度/℃	电阻/ Ω	测量值/℃	绝对误差/℃
1	25.00	1 097.34	25.05	0.05
2	30.00	1 116.72	30.00	0
3	35.00	1 136.07	34.95	-0.05
4	40.00	1 155.39	40.05	0.05
5	45.00	1 174.69	45.00	0
6	50.00	1 193.95	50.00	0

度在 ± 0.3 ℃以内。

3.3 瘤胃pH值和温度检测单元功耗试验

瘤胃pH值和温度检测单元需要长期留置在奶牛瘤胃内,功耗对检测单元的工作寿命具有重要的影响。工作状态电流使用低功耗分析仪(是德科技有限公司, N6705C型)测量。低功耗分析仪通过USB数据线连接计算机,采样间隔设置为1 ms,使用14585A控制和软件记录并导出数据。

检测单元定时唤醒,测量pH值和温度,并完成无线数据传输。工作模式共持续1 650 ms。通过计算,工作模式平均电流为7.4 mA。使用福禄克15B+型万用表测得休眠模式电流平均值为20 μ A。检测单元检测时间间隔为10 min时,计算可得平均电流值为0.040 3 mA。锂电池容量为2 200 mA·h,鉴于瘤胃环境温度在39℃左右,电池容量按照标称容量的80%计算,电池使用寿命可达1 800 d。

3.4 无线传输网络可靠性试验

为验证无线传输网络数据传输的可靠性,对无线传输网络最大通信距离和不同通信距离下的丢包率进行测试。

将数据集中器连接XDS110仿真器,XDS110通过USB数据线连接计算机,天线固定在牛舍内。打开Smart RF Studio7频率设置为433 MHz,传输速率50 kb/s,输出功率14 dBm。移动项圈节点在牛舍

30 ~ 240 m 范围内每隔 50 m 项圈节点发送 1 000 个数据包,测试丢包率。由表 3 可以看出,通信距离在 180 m 以内能够可靠通信,满足实际需求。

表 3 无线传输网络丢包率

Tab.3 Packet loss rate of wireless network

序号	距离/m	数据包/个	接收包/个	丢包率/%
1	30	1 000	1 000	0
2	80	1 000	1 000	0
3	130	1 000	1 000	0
4	180	1 000	1 000	0
5	240	1 000	950	5.0

3.5 现场试验

3.5.1 试验方案

现场试验在西北农林科技大学畜牧教学试验基地进行。试验选择 1 头体质量为 600 kg、装有瘤胃瘻管的泌乳期荷斯坦奶牛为试验动物。该奶牛每天于 07:00 和 19:30 饲喂,全天自由饮水。图 10 为奶牛佩戴项圈中继节点以及瘤胃 pH 值和温度检测单元放置图。数据集中器和物联网网关布置在 50 m 外的牛场办公室。



(a) 奶牛佩戴项圈中继节点 (b) 检测单元放置

图 10 现场试验部署

Fig. 10 Field test deployment diagrams

试验于 2021 年 7 月 26 日 19:00 开始,共 5 d。试验开始前,对瘤胃 pH 值和温度检测单元进行校准。设定检测时间间隔为 10 min。通过瘻管将检测单元放置到瘤胃下部。试验期间,每次人工抽取靠近检测单元的瘤胃液 100 mL,使用 SX-811WW 型便携式 pH 计测定瘤胃液样品。试验前 3 d 分别在 09:50 和 18:30 进行人工采样。试验后 2 d 分别在 09:50、15:00 和 18:30 采样。

3.5.2 试验结果

图 11 给出了瘤胃 pH 值和温度变化曲线。表 4 给出了人工测定的 pH 值与监测系统记录的 pH 值。结果显示,瘤胃液人工测定 pH 值与实时监测系统记录值平均绝对偏差为 0.10,最大绝对偏差为 0.20。皮尔逊相关性分析显示两种测量方法显著正相关($r=0.961, P<0.05$)。

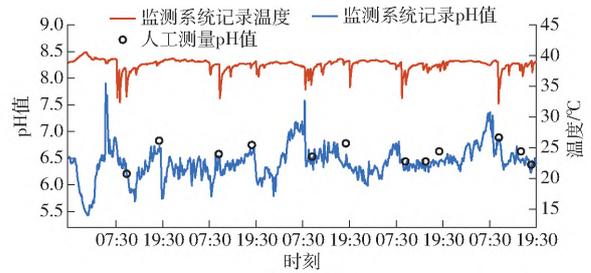


图 11 监测系统记录和人工测量 pH 值

Fig. 11 Records of monitoring system and manual pH value measurement

表 4 瘤胃 pH 值测定结果

Tab.4 Result of rumen pH value test

序号	日期	时刻	系统记录值	人工测定值	绝对偏差
1	07-27	09:50	6.15	6.20	0.05
2	07-27	18:30	6.72	6.82	0.10
3	07-28	09:50	6.51	6.57	0.06
4	07-28	18:30	6.60	6.74	0.14
5	07-29	09:50	6.46	6.52	0.06
6	07-29	18:30	6.57	6.77	0.20
7	07-30	09:50	6.35	6.43	0.08
8	07-30	15:00	6.38	6.43	0.05
9	07-30	18:30	6.45	6.62	0.17
10	07-31	09:50	6.82	6.88	0.06
11	07-31	15:00	6.47	6.62	0.15
12	07-31	18:30	6.29	6.37	0.08

人工测定瘤胃液 pH 值均高于监测系统记录值。国内外研究报道,人工测定瘤胃液 pH 值会高于实时监测系统测量值 0.10 左右,这是由于从瘤胃中抽取瘤胃液进行测定时,瘤胃液 CO₂ 或挥发性脂肪酸挥发,使得瘤胃液样品测定值比实时监测系统测量值高^[33-34]。本试验结果和上述研究结果相同。尽管本文未对瘤胃 pH 值和温度进行联合分析,但是基于已有研究^[35],后续可以综合瘤胃 pH 值和温度变化对奶牛瘤胃健康水平和饲料配方是否合理提供更加准确的参考。

4 结论

(1) 基于物联网技术设计了一种瘤胃 pH 值和温度监测系统,实现了对奶牛瘤胃 pH 值和温度动态监测。

(2) 对系统性能进行了测试,结果表明,瘤胃检测单元 pH 值测量绝对误差为 ±0.02,温度测量绝对误差为 ±0.3℃,采样间隔时间设定为 10 min 时,电池使用寿命可达 1 800 d。无线传输网络可在 180 m 内可靠传输,并实现了自组网。

(3) 现场试验结果表明,本文设计的瘤胃 pH 值和温度监测系统能够有效监测瘤胃 pH 值和温度的动态变化,为奶牛瘤胃酸中毒的诊断和精准饲喂提供参考。

参 考 文 献

- [1] 魏双,姜晓伟. 供给侧改革视角下我国畜牧业改革若干思考[J]. 沈阳干部学刊, 2017, 19(3): 21-22.
- [2] 张南,张旭光. 我国奶牛养殖业现状及发展建议[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2020(16): 7-10, 20.
ZHANG Nan, ZHANG Xuguang. Current situation and development suggestions of dairy farming in China [J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2020(16): 7-10, 20. (in Chinese)
- [3] 夏雪,侍啸,柴秀娟. 人工智能驱动智慧奶牛养殖的思考与实践[J]. 中国乳业, 2020(8): 5-9.
- [4] 周勃. 瘤胃生理与奶牛健康[J]. 乳业科学与技术, 2002, 25(1): 54-56.
- [5] STAUDER A, HUMER E, NEUBAUER V, et al. Distinct responses in feed sorting, chewing behavior, and ruminal acidosis risk between primiparous and multiparous Simmental cows fed diets differing in forage and starch levels [J]. Journal of Dairy Science, 2020, 103(9): 8467-8481.
- [6] JOUANY J P. Optimizing rumen functions in the close-up transition period and early lactation to drive dry matter intake and energy balance in cows [J]. Animal Reproduction Science, 2006, 96(3): 250-264.
- [7] 王洪荣. 反刍动物瘤胃酸中毒机制解析及其营养调控措施[J]. 动物营养学报, 2014, 26(10): 3140-3148.
WANG Hongrong. Mechanism analysis and nutritional strategies for prevention of sub-acute ruminal acidosis in ruminants [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(10): 3140-3148. (in Chinese)
- [8] PLAIZIER J C, KRAUSE D O, GOZHO G N, et al. Subacute ruminal acidosis in dairy cows: the physiological causes, incidence and consequences [J]. The Veterinary Journal, 2009, 176(1): 21-31.
- [9] ZEBELI Q, DIJKSTRA J, TAJAJ M, et al. Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet [J]. Journal of Dairy Science, 2008, 91(5): 2046-2066.
- [10] ATKINSON O. Prevalence of subacute ruminal acidosis (SARA) on UK dairy farms [J]. Cattle Practice, 2014, 22(1): 1-9.
- [11] STEFANŃSKA B, PRUSZYŃSKA-OSZMAŁEK E, SZCZEPANKIEWICZ D, et al. Relationship between pH of ruminal fluid during subacute ruminal acidosis and physiological response of the Polish Holstein-Friesian dairy cows [J]. Polish Journal of Veterinary Sciences, 2017, 20(3): 551-558.
- [12] KRAUSE K M, OETZEL G R. Inducing subacute ruminal acidosis in lactating dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 2005, 88(10): 3633-3639.
- [13] NOCEK J E. Bovine acidosis: implications on laminitis [J]. Journal of Dairy Science, 1997, 80(5): 1005-1028.
- [14] AMMER S, LAMBERTZ C, GAULY M. Comparison of different measuring methods for body temperature in lactating cows under different climatic conditions [J]. Journal of Dairy Research, 2016, 83(2): 165-172.
- [15] NORDLUND K V, GARRETT E F. Rumenocentesis: a technique for collecting rumen fluid for the diagnosis of subacute rumen acidosis in dairy herds [J]. Bovine Practitioner, 1994, 28(1): 109-112.
- [16] GARRETT E F, PEREIRA M N, NORDLUND K V, et al. Diagnostic methods for the detection of subacute ruminal acidosis in dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 1999, 82(6): 1170-1178.
- [17] GOZHO G N, KRAUSE D O, PLAIZIER J C. Ruminal lipopolysaccharide concentration and inflammatory response during grain-induced subacute ruminal acidosis in dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 2007, 90(2): 856-866.
- [18] 杨宝钰,王娇,颜轶男,等. 奶牛瘤胃 pH、消化酶活性及原虫数量的日动态变化研究 [J]. 动物营养学报, 2021, 33(3): 1534-1544.
YANG Baoyu, WANG Jiao, YAN Yinan, et al. Daily dynamic changes of rumen pH, digestive enzyme activities and protozoa number in dairy cows [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(3): 1534-1544. (in Chinese)
- [19] DUFFIELD T, PLAIZIER J C, FAIRFIELD A, et al. Comparison of techniques for measurement of rumen pH in lactating dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 2004, 87(1): 59-66.
- [20] NOCEK J E, ALLMAN J G, KAUTZ W P. Evaluation of an indwelling ruminal probe methodology and effect of grain level on diurnal pH variation in dairy cattle [J]. Journal of Dairy Science, 2002, 85(2): 422-428.
- [21] PENNER G B, BEAUCHEMIN K A, MUTSVANGWA T. An evaluation of the accuracy and precision of a stand-alone submersible continuous ruminal pH measurement system [J]. Journal of Dairy Science, 2006, 89(6): 2132-2140.
- [22] MOTTRAM T, LOWE J, MCGOWAN M, et al. Technical note: a wireless telemetric method of monitoring clinical acidosis in dairy cows [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 64(1): 45-48.
- [23] SATO S, MIZUGUCHI H, ITO K, et al. Technical note: development and testing of a radio transmission pH measurement system for continuous monitoring of ruminal pH in cows [J]. Preventive Veterinary Medicine, 2012, 103(4): 274-279.
- [24] KIM H, MIN Y, CHOI B. Real-time temperature monitoring for the early detection of mastitis in dairy cattle: methods and case researches [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 162: 119-125.
- [25] TIMSIT E, ASSIÉ S, QUINIOU R, et al. Early detection of bovine respiratory disease in young bulls using reticulo-rumen temperature boluses [J]. The Veterinary Journal, 2011, 190(1): 136-142.
- [26] 中国农业科学院畜牧研究所. 实时连续监测反刍动物瘤胃液 pH 值的装置: 200520106473.6 [P]. 2006-11-15.

- [15] VASWANI A, SHAZEER N, PARMAR N, et al. Attention is all you need [C] // Advances in Neural Information Processing Systems, 2017: 5998 – 6008.
- [16] 林阳, 初旭, 王亚沙, 等. 融合自注意力机制的跨模态食谱检索方法 [J]. 计算机科学与探索, 2020, 14(9): 1471 – 1481.
LIN Yang, CHU Xu, WANG Yasha, et al. Cross-modal recipe retrieval method fused with self-attention mechanism [J]. Computer Science and Exploration, 2020, 14(9): 1471 – 1481. (in Chinese)
- [17] HOCHREITER S, SCHMIDHUBER J. Long short-term memory [J]. Neural Computation, 1997, 9(8): 1735 – 1780.
- [18] 綦金玮, 彭宇新, 袁玉鑫. 面向跨媒体检索的层级循环注意力网络模型 [J]. 中国图象图形学报, 2018, 23(11): 1751 – 1758.
QI Jinwei, PENG Yuxin, YUAN Yuxin. Hierarchical cyclic attention network model for cross-media retrieval [J]. Chinese Journal of Image and Graphics, 2018, 23(11): 1751 – 1758. (in Chinese)
- [19] RASIWASIA N, COSTA P, COVIELLO E, et al. A new approach to cross-modal multimedia retrieval [C] // Proceedings of the 18th ACM International Conference on Multimedia, 2010: 251 – 260.
- [20] HARDOON D R, SZEDMAK S, SHAW-TAYLOR J. Canonical correlation analysis: an overview with application to learning methods [J]. Neural Computation, 2004, 16(12): 2639 – 2664.
- [21] ANDREW G, ARORA R, BILMES J, et al. Deep canonical correlation analysis [C] // International Conference on Machine Learning. PMLR, 2013: 1247 – 1255.
- [22] YAN F, MIKOLAJCZYK K. Deep correlation for matching images and text [C] // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2015: 3441 – 3450.
- [23] WEI Y, ZHAO Y, LU C, et al. Cross-modal retrieval with CNN visual features: a new baseline [J]. IEEE Transactions on Cybernetics, 2016, 47(2): 449 – 460.
- [24] FENG F, WANG X, LI R. Cross-modal retrieval with correspondence autoencoder [C] // Proceedings of the 22nd ACM International Conference on Multimedia, 2014: 7 – 16.
- [25] WANG B, YANG Y, XU X, et al. Adversarial cross-modal retrieval [C] // Proceedings of the 25th ACM International Conference on Multimedia, 2017: 154 – 162.
- [26] PENG Yuxin, QI Jinwei, YUAN Yuxin. Modality-specific cross-modal similarity measurement with recurrent attention network [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2018, 27(11): 5585 – 5599.

(上接第 298 页)

- [27] COVINGTON A K, BATES R G, DURST R A. Definition of pH scales, standard reference values, measurement of pH and related terminology [J]. Pure and Applied Chemistry, 1985, 57(3): 531 – 542.
- [28] GRAHAM D J, JASELSKIS B, MOORE C E. Development of the glass electrode and the pH response [J]. Journal of Chemical Education, 2013, 90(3): 345 – 351.
- [29] 何东健, 刘畅, 熊虹婷. 奶牛体温植入式传感器与实时监测系统设计与试验 [J]. 农业机械学报, 2018, 49(12): 195 – 202.
HE Dongjian, LIU Chang, XIONG Hongting. Design and experiment of implantable sensor and real-time detection system for temperature monitoring of cow [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(12): 195 – 202. (in Chinese)
- [30] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 30121—2013 工业铂热电阻及铂感温元件 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [31] NOGAMI H, ARAI S, OKADA H, et al. Minimized bolus-type wireless sensor node with a built-in three-axis acceleration meter for monitoring a cow's rumen conditions [J]. Sensors, 2017, 17(4): 687.
- [32] BEWLEY J M, GROTT M W, EINSTEIN M E, et al. Impact of intake water temperatures on reticular temperatures of lactating dairy cows [J]. Journal of Dairy Science, 2008, 91(10): 3880 – 3887.
- [33] ALZAHAL O, RUSTOMO B, ODONGO N E, et al. Technical note: a system for continuous recording of ruminal pH in cattle [J]. Journal of Animal Science, 2007, 85(1): 213 – 217.
- [34] 赵小伟, 王加启, 卜登攀, 等. 奶牛瘤胃 pH 不同测定方法的比较研究 [J]. 中国畜牧兽医, 2013, 40(11): 213 – 216.
ZHAO Xiaowei, WANG Jiaqi, BU Dengpan, et al. Comparative study on two different test methods in rumen pH of dairy cows [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2013, 40(11): 213 – 216. (in Chinese)
- [35] ALZAHAL O, ALZAHAL H, STEELE M, et al. The use of a radiotelemetric ruminal bolus to detect body temperature changes in lactating dairy cattle [J]. Journal of Dairy Science, 2011, 94(7): 3568 – 3574.