doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.S0.046

基于植入式 RFID 感温芯片的猪体温与饮水监测系统

张国锋[1,2]　陶　莎[1,2]　于丽娜[3,4]　褚　琦[1,2]　贾敬敦[1,2]　高万林[1,2]

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083;
2. 中国农业大学农业农村部农业信息化标准化重点实验室, 北京 100083;
3. 中国科学院半导体研究所, 北京 100083; 4. 中国科学院大学材料科学与光电技术学院, 北京 100049)

摘要: 为了实现猪体温和饮水行为的协同感知和联合数据采集,针对传统体温测量效率低、饮水量监测不准、数据可用性差的问题,将植入式 RFID 温度芯片应用于集中式圈舍养殖中猪体温的测量,将水流量传感器用于猪饮水行为的监测,两者配合可以实现猪身份识别码(ID)、体温和饮水行为的协同感知和联合数据采集。根据猪用自动饮水碗的结构和饮水时的场景,设计了集水流量传感器、RFID 阅读器和 ZigBee 模块于一体的无线监控节点,开发了在猪只饮水的同时自动进行体温测量的监测系统。对芯片植入深度、体温变化和饮水行为的监测分别设计了不同的试验,结果表明:该系统可以实现对猪只不同深度体表温度、不同饮水时长和饮水量的自动监测,3 种数据的自动关联和同时采集,可为猪病早期预警和诊断提供技术支撑。该系统有效避免了人工操作失误,提高了工作效率,可以满足集中式养猪场的精细化管理要求。

关键词: 猪只; 体温; 饮水监测; 植入式; RFID

中图分类号: TP391.4; S815　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2019)S0-0297-08

Pig Body Temperature and Drinking Water Monitoring System Based on Implantable RFID Temperature Chip

ZHANG Guofeng[1,2]　TAO Sha[1,2]　YU Li'na[3,4]　CHU Qi[1,2]　JIA Jingdun[1,2]　GAO Wanlin[1,2]

(1. *College of Information and Electrical Engineering*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100083, *China*
2. *Key Laboratory of Agricultural Informatization and Standardization*, *Ministry of Agriculture and Rural Affairs*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100083, *China*
3. *Institute of Semiconductors*, *Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100083, *China*
4. *Center of Materials Science and Optoelectronics Engineering*, *University of Chinese Academy of Sciences*, *Beijing* 100049, *China*)

Abstract: Aiming to achieve synergistic perception and joint data collection of pig body temperature and drinking behavior. In view of the low efficiency of traditional body temperature measurement, the inaccurate monitoring of drinking water, and the poor data availability, the implanted RFID temperature chip was applied to the measurement of pig body temperature in centralized pen housing breeding, and the water flow sensor was used for monitoring drinking water behavior. The combination of the two can achieve synergistic perception and joint data collection of pig identity ID, body temperature and drinking behavior. According to the structure of the automatic drinking water bowl for pigs and the scene when drinking water, a wireless monitoring node integrating water collecting flow sensor, RFID reader and ZigBee module was designed, and a monitoring system for automatically measuring pigs body temperature while drinking water was developed. Different experiments were designed for the monitoring of chip implantation depth, body temperature change and drinking water behavior. The experiments results showed that the system can measure the body temperature of different depths of pigs, and automatically monitor different drinking time and drinking water. The automatic association and simultaneous collection of data provided technical support for early warning and diagnosis of pig disease. The system effectively

收稿日期: 2019-04-16　修回日期: 2019-05-25

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2019TC046)、中国农业大学农业农村部农业信息化标准化重点实验室开放课题项目(AIS2018-04)和教育部智能农业技术创新示范中心培育项目(2017PT19)

作者简介: 张国锋(1986—),男,博士生,主要从事农业信息化、计算机网络与信息安全研究,E-mail: gfky2010@sina.com

通信作者: 高万林(1965—),男,教授,博士生导师,主要从事农业信息化技术、计算机网络与信息安全研究,E-mail: wanlin_cau@163.com

avoided manual operation errors, improved work efficiency, and can meet the fine management requirements of centralized pig farms.

Key words: pig; body temperature; drinking water monitoring; implantable; RFID

0 引言

猪病是制约规模化养猪业发展的重要因素之一,规模化猪场的病毒性疫病给养猪业带来了极大损失[1]。为此,《国家中长期动物疫病防治规划(2012—2020 年)》中明确规定,优先防治 16 种国内动物疫病和重点防范 13 种外来动物疫病,其中病毒性发热类疾病因传染性危害严重,被列为防治的重点,例如口蹄疫、猪瘟、非洲猪瘟、猪蓝耳病等[2],科学合理地预防和诊断是疾病防控不可缺少的重要环节[3]。

疾病的防治遵循“以防为主”的原则。体温是体现牲畜健康状况的重要参数[4]。猪发病前的征兆通常是发烧(体温升高)、运动量减少,随即出现采食和饮水量减少[5],饮水是判断猪只健康的重要依据[6]。因此,准确获取体温和饮水数据成为疾病早期诊断的关键问题。发烧是许多疾病,尤其是传染病和炎症性疾病过程中常伴发的一种全身性临床症状[7],主要通过检查体温及观察体温的动态变化诊断疾病的发生。射频识别(RFID)技术已应用于畜牧业的疾病控制、育种和库存管理[8],是现代畜牧业的一项重要技术[9]。基于 RFID 的项圈、耳标和植入式芯片已被用于猪身份标识[10],对于猪和育肥牛来说,项圈成本太高,基于成本考虑,植入封装或附着在耳标上的转发器更为合理[9]。除了自动识别对象外,可以使用支持传感器 RFID 标签来监控和共享有关周围环境的信息[11],如植入式 RFID 感温芯片[4-5,12]用于测量牲畜的体温。显然,以 RFID 技术为基础的牲畜管理系统可以实现牲畜精准管理、饲养员和兽医共享信息,以便及早预防疾病[13]。

本文基于植入式 RFID 感温芯片,综合应用 RFID 技术、ZigBee 技术及嵌入式系统技术,设计集中式猪舍养殖环境下猪体温和饮水行为的自动监测系统,为猪场的精准管理、猪病疾病早期诊断和预警提供技术支撑。

1 研究现状

1.1 体温监测研究

牲畜体温一般分为直肠(核心)温度、体表温度和皮下温度,体温监测工具主要有:红外温度计[4]、数字或水银温度计[12]、植入式 RFID 感温芯片[4-5,12]和耳标式温度传感器[14]。红外温度计可以测量体表[4]或鼓室温度[12],数字或水银温度计主要用于测量直肠(核心)温度[12];植入式 RFID 感温芯片主要测量皮下温度[4]。智能穿戴设备、红外成像技术也被用于测量牲畜的体温,但成本高、性能差异大,不易实施。基于机器视觉的猪体温测量方法可以判断猪的体温[15],但成本高、实时性差。胶囊状无线温度传感器[16]也被用于测量猪的体温,但需要手术埋入体内,操作复杂、风险高。呼吸道测量体温[17]和直肠测量体温尽管准确,但测温时间长、操作复杂、效率低,并可能导致粘膜撕裂或感染,不适用于规模化养殖下实时获取每头猪的体温数据[18]。安装有 RFID 阅读器的耳标可以读取植入式微芯片采集的猪体温数据[5],但每头猪都要佩带耳标,导致成本增加,同时存在猪只互相撕咬、耳标脱落等问题。相反,鼓室红外温度计和植入式微芯片转发器使用更加方便[12],植入式 RFID 感温芯片通过注射器可以无害的非手术植入,方便、人性、可靠。支持表皮体温测量的植入式 RFID 芯片已被应用于测量羊、马[12]、老鼠[19]和猫[20]的体温测量实验。老鼠[4]和山羊体温[12]研究表明,皮下体温与核心体温存在极好的一致性。因此,通过植入式 RFID 感温芯片测量猪皮下体温是一种更加合理、易于操作的解决方案。

1.2 饮水监测研究

猪只饮水行为是判定猪只健康的重要依据,包括饮水次数和饮水量两个指标。例如哺乳期母猪在健康期和患病期饮水次数及饮水量存在显著差异,通过监测母猪的饮水行为可以辨别患病母猪[21]。但是,传统的人工观察方法劳动量大、效率低。现在对猪只行为的观测方法已由人工观察向电子测量、视频监测和声音监测方向发展[22]。随着电子标识、自动控制和机器视觉技术的发展,耳标识别及嵌入式控制系统可以实时采集每头猪的采食行为和采食量[23]。目前,对猪饮水行为的监测方法主要包括基于机器视觉方法和 RFID 耳标结合水流传感器方法[24]。基于机器视觉方法利用视频监控设备采集图像来识别猪只的行为[5,24-26],同时可以识别猪只的身份[24]。通过视频判定猪只的饮水时间,利用饮水量模型计算得到饮水量[27],由于水量不仅依赖于时间,还与水压有关,同时猪只的戏水行为也容易被误判为饮食,因此此种方法对饮水量的计算并不准

确。相反，利用传统 RFID 耳标和水流量传感器[28-29]建立猪只识别和饮水行为监测为一体的采集节点，可以完成对猪只饮水行为和饮水量实时监测，但传统耳标被撕咬、损坏和丢失的问题依然存在。更重要的是，以上方法都无法实现猪只身份、体温与饮水行为的一体化协同监测，难以准确同步匹配。

2　猪体温及饮水监测系统设计

2.1　系统整体设计

2.1.1　系统功能

本文设计的猪体温及饮水监测系统主要实现猪只身份、体温、饮水次数及饮水量的协同一体化连续监测，并将监测数据实时传送至服务器，以辅助饲养员和兽医的日常管理及疫病诊断。系统功能包括：猪只身份 ID 识别、体温连续自动测量、饮水行为和饮水量准确监测、监测数据实时传送等功能。猪只的身份 ID 识别和体温测量由植入式 RFID 感温芯片实现，克服传统耳标和人工测量体温的不足；饮水行为和饮水量的监测由水流量传感器完成，并可以与 RFID 阅读器实现数据的协同感知、自动关联，提高了数据准确性和可用性。

2.1.2　系统架构

根据系统的功能，设计了系统的架构图，如图 1 所示。本文只完成猪舍内部系统的设计与实现，包括监测系统的硬件和软件部分。

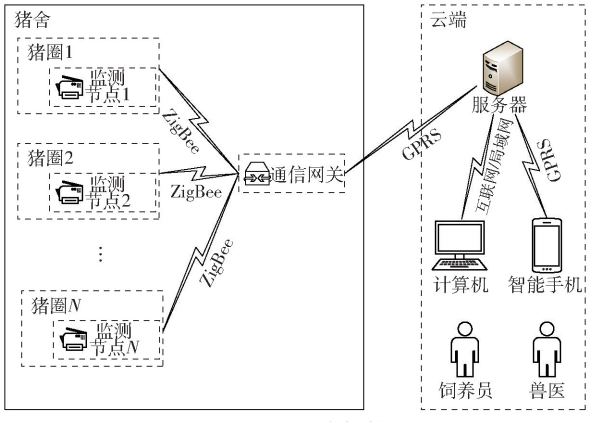

图 1　监测系统架构图

Fig. 1　System architecture diagram

以猪圈为单位部署监测节点，每个节点将采集到的监测数据通过 ZigBee 网络发送至通信网关，通信网关利用 GPRS 模块与云端服务器通信，实现监测数据的实时上传，供饲养员和兽医查阅。

2.1.3　体温及饮水行为监测

为了更好地发挥体温和饮水行为在猪病诊断中的作用，体现两者之间的时间关联关系，本系统将体温与饮水行为自动关联、协同监测。正常来说，本监测系统中体温测量和饮水行为两个事件应该同时发生，但存在以下两种特殊情况：一是当猪只饮水事件发生时，可能因为 RFID 阅读器与猪只的位置距离太远导致没有采集到猪只的身份 ID 和体温数据，这属于漏读，但饮水行为监测数据依然有效；二是当 RFID 阅读器成功读取身份 ID 和体温数据时，没有监测到饮水行为，这时猪可能正在饮水，或是玩耍，属于正常情况，此时监测得到的身份 ID 和体温数据依然有效。即只要能监测到猪只的身份 ID、体温以及饮水量中的一个数据，则认为监测事件发生，需要上报。

2.2　系统硬件

2.2.1　植入式 RFID 感温芯片

目前市面上能买到的植入式 RFID 感温芯片主要有 3 种[30]：第 1 种是 HomeAgain TempScan 芯片，工作频段 125 kHz，兼容的阅读器包括 HomeScan 和 Universal Worldscan Reader Plus。第 2 种是 LifeChip 985 芯片，尺寸为 2.12 mm × 13 mm，兼容 ISO11784 和 ISO11785 标准，兼容的读写器有手持式 SURE 阅读器、DTR5 Portable Stick 阅读器和 GPR + global pocket 阅读器，工作频段为 134 kHz，手持式 SURE 阅读器的最大通信距离为 95 mm，温度读取范围为 33 ~ 43℃，温度不在阅读范围内时以“ * ”代替，如图 2 所示。第 3 种是 IPTT - 300 芯片，测温范围为 32 ~ 43℃，尺寸为 2 mm × 14 mm，被动无源芯片，配套的阅读器包括 DAS 8001、DAS 8010、DAS 8020 和手持式 DAS 8007。

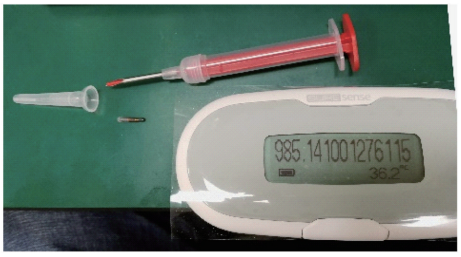

图 2　植入式 RFID 感温芯片及配套阅读器

Fig. 2　Implantable RFID temperature chip and reader

以上 3 种芯片的工作频段为低频段（125 kHz 或 134.2 kHz），通信距离很短，如 SURE 阅读器的最大距离只有 95 mm。显然，这限制了该类芯片的广泛应用，目前主要应用于实验室动物和宠物的管理。尽管猪只在猪舍中处于不断运动状态，但猪只在饮水时处于静止的标准站立姿态，并且饮水时间足够进行身份 ID 和体温的读取。因此，在该场景下可以采用植入式 RFID 感温芯片测量猪只体温。

2.2.2　猪用自动饮水器

猪场常用自动饮水器主要有 3 种：鸭嘴式、乳头式和碗（杯）式。碗式饮水器是由一个垂直向下的

乳头饮水器和一个碗构成。猪只饮水时将嘴伸入碗中,触碰乳头式开关后水会流到碗中。相对鸭嘴和乳头式饮水器,具有节水、节药、保持圈舍干燥和防止猪只划伤等优势,因此,本文选用碗式饮水器(河南卓壮自动化设备有限公司,304 不锈钢)为猪只供水,采用通用的四分管直接与自来水管连接。

2.2.3 水流量传感器

涡轮式流量传感器的工作原理为:当水流穿过传感器的叶轮时,叶轮的转速与水流的速度成正比,叶轮的转动带动磁铁输出周期性的脉冲信号,由控制器对脉冲信号进行计数,可以计算得到水流量[31]。水流速度计算采用涡轮式流量传感器(佛山市顺德区中江节能电子有限公司,YF-S201C 型)完成,与猪只饮水碗的进水端同方向安装,用于监测猪的饮水量。水流速度与脉冲信号的转换公式为

$$Q = \frac{f}{5}$$

式中 Q——水流速度 f——脉冲频率

2.2.4 RFID 阅读器

根据植入式 RFID 感温芯片的工作频率,选取工作频率为 134.2 kHz、兼容 ISO11784/ISO11785 标准的 D-Think_M30Z134RFID 阅读器,由无线监测终端控制该模块。通过通用异步收发传输器(UART)通信可以读取 RFID 芯片的 12 字节数据,其中第 1~5 字节为国内唯一识别码,高 2 位无效,共 38 位有效;第 6~7 字节为 ISO 3166 国家编码,高 6 位无效,共 10 位有效;第 8 字节为附加数据标志位,高 7 位为保留数据,最低 1 位有效,当附加数据有效时,最低位为 1,否则为零;第 9 字节为动物标志位,高 7 位为保留数据,最低 1 位有效,当标签应用于动物管理时,最低位为 1,否则为零;第 10~12 字节为附加数据。根据 ISO 11784 规定,附加数据域可以存放设备测量得到的生理数据,显然,植入式 RFID 感温芯片测得的体温数据可以通过附加数据返回给阅读器。

根据猪只颈部尺寸可以将 RFID 阅读器封装为梯形或三角形,以卡住猪只的脖子为宜,如图 3 所示。

2.2.5 监测设备

监测设备包括监测节点和通信网关。监测节点由 RFID 阅读器、CC2530 模块和水流量传感器模块组成,RFID 阅读器负责读取猪只的身份 ID 和体温数据;水流量传感器模块负责监测猪只的饮水行为;CC2530 模块作为 ZigBee 网络的终端节点,负责与协调器组网及数据传送。通信网关由 CC2530 模块作为协调器管理当前的 ZigBee 网络并汇总监测节点发送的数据,通过 GPRS 模块与服务器通信,实现监测数据的实时上报发送。监测节点选择安联德 CC2530 开发板作为底板,实现水流量传感器与 RFID 阅读器的集成,通过 UART 与 RFID 阅读器进行通信和数据交互。组装完成的监测设备如图 3 所示。

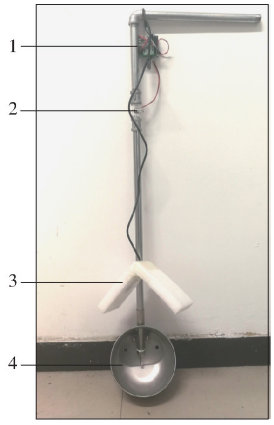

图 3 监测设备

Fig. 3 Monitoring equipment

1. 监测节点 2. 水流量传感器 3. RFID 阅读器 4. 猪用饮水碗

2.3 系统安装与实现

2.3.1 系统安装方案

由于 RFID 通信距离较短,植入猪体后的通信距离会进一步缩短,因此,为了保证能正确识别植入式 RFID 感温芯片,要保证阅读器天线尽可能与芯片植入位置的皮肤靠近。另外,终端的安装方案应该满足不同生长周期猪只的识别,同时需要保证在饮水过程中不受其他猪只的干扰。设计的监测终端安装方案如图 4 所示。

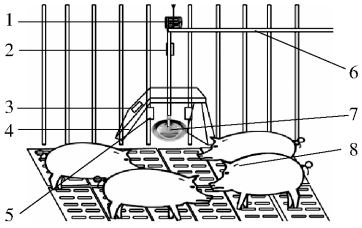

图 4 系统安装示意图

Fig. 4 Schematic of system installation

1. 监测节点 2. 水流量传感器 3. RFID 阅读器 4. 可升降挡板 5. 挡板最低卡位 6. 饮水管 7. 猪用自动饮水碗 8. 植入式 RFID 感温芯片

监测终端通过有线的方式连接并控制 RFID 阅读器和水流量传感器,RFID 阅读器安装于可升降挡板的左侧,猪只饮水时正好可以与左耳基部的植入式 RFID 感温芯片距离最近,可以保证更准确地识别芯片。挡板的功能类似于限位栏,一是保证同一时刻只有一头猪在饮水,避免其他猪只的干扰;二是可以避免猪只戏水导致饮水碗污染,保证清洁饮水。

另外，由于不同生长周期猪只的身高不同，因此挡板下方的挡板最低卡位限定了最低位置，当猪只进入挡板时，可以根据身高自动调整托起挡板，因此，此设计可以适用于不同生长周期猪只的体温监测。

2.3.2　系统实现

本系统基于支持 IEEE 802.15.4/ZigBee 的 Z－Stack 协议栈在 IAR Embedded Workbench 环境下采用 C 语言实现。监测系统由监测节点负责猪只身份 ID、体温、饮水量的数据采集，具体工作流程如图 5 所示。监测节点启动后初始化 RFID 阅读器和水流量传感器，开启数据上报计时器和数据监测计时器。1 个数据上报计时器时长为 1 个上报周期，1 个数据监测计时器时长为 1 个监测周期，1 个数据上报周期包含多个监测周期。每个监测周期结束时采集本周期内猪只的身份 ID、体温和饮水量，然后开启新的监测周期；在数据上报周期结束时，计算本周期内的平均体温和累计饮水量作为本次监测数据。如果本周期内没有识别猪只的身份 ID，同时饮水量为 0，则不上报数据；否则将采集的数据发送给通信网关，进入下一个数据上报周期。

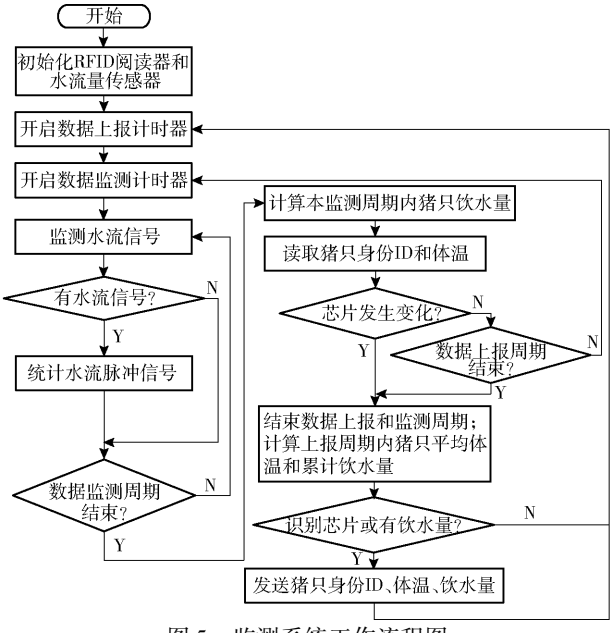

图 5　监测系统工作流程图

Fig. 5　Flow chart of monitoring system

需要注意的是，每个数据监测周期结束时，都要对猪只的身份 ID 进行判断，如果猪只的身份 ID 发生变化（若未读取到 ID，认为没有变化），则认为原来饮水的猪只已经离开，新的猪只已经进入，此时需要将当前已采集到的数据即刻发送，并开启新的数据上报周期。如果连续两个数据上报周期内既没有读取猪只的身份 ID 和体温，也没有监测到饮水量，则让 RFID 阅读器进入休眠模式，当监测到新的水流信号时，重新唤醒 RFID 阅读器进入工作模式，以降低功耗。

通过设定的数据上报周期可以保证监测数据的及时性，通过计算体温平均值，提高了体温测量的精确度。最重要的是，通过以上流程实现了猪只身份 ID、体温与饮水量的同时监测，这种数据更有利于猪病的预警与诊断。

3　试验及结果分析

3.1　试验材料与方案

本试验在实验室中由搭建的猪体温及饮水监测系统和猪只的模型配合完成。为了验证监测系统的有效性，分别对植入式 RFID 感温芯片的读取距离、温度数据及水流量进行了验证。试验系统由一个监测终端、通信网关、计算机和模型猪完成，如图 6 所示。



图 6　猪体温及饮水监测试验

Fig. 6　Pig body temperature and drinking water monitoring test

1. 上位机　2. 水流量传感器　3. 猪用饮水碗　4. 测试猪肉　5. 监测终端　6. 通信网关　7. RFID 阅读器　8. 模型猪

（1）模型猪：试验中为了更好地模拟真实的应用场景，采用成年猪的模型进行测试，模型猪毛色为黑色，体高 65 cm、体长 124 cm、颈宽 20 cm，能很好地模拟猪只饮水的情况。在测试过程中将植入式 RFID 感温芯片植入在测试猪肉表皮以下（深度为 0.5 cm），然后覆盖于模型猪的耳朵基部，来模拟真实的植入猪表皮以下的场景。

（2）植入式芯片：选用工作频段为 134.2 kHz，兼容 ISO11784/ISO11785 的两种植入式 RFID 芯片进行对比试验，即带体温测量功能的植入式 RFID 芯片（LifeChip 985）和不带温度测量功能的普通植入式芯片（Remex－X002），主要用于对比分析 RFID 阅读器的读取性能和温度测量功能对植入式 RFID 芯片读取距离的影响，以选取最佳的植入位置。

（3）植入位置：对猪只来说，耳廓基部和耳基部是建议的皮下注射部位[10]，试验中假设芯片统一植入左耳基部。

3.2　体温及饮水监测试验

本试验主要验证系统的工作情况，主要验证监

测数据的有效性和及时性。试验中数据上报周期设置为 1 s,监测终端将 RFID 阅读器和水流量传感器采集的身份 ID、体温和饮水量一起通过 ZigBee 网络发送给通信网关。通信网关接收后通过串口以十六进制方式输出,波特率为 9 600 b/s,如图 7 所示。本监测系统设计的监测数据报文格式为“ID:身份 ID Temp:体温℃ water:饮水量 ml”,其中数据标识“ID:”、“Temp:”和“water:”的十六进制输出分别为:“49 44 3A”、“54 65 6D 70 3A”和“77 61 74 65 3A”。身份 ID 数据 7 个字节(国家编码 2 字节在前,国内唯一识别码 5 字节在后)、体温数据 3 个字节和饮水量数据 6 个字节,精确到小数点后 2 位,在监测管理系统收到后按约定的转换规则即可得到准确结果。如身份 ID“03D920D454BD42”根据 RFID 阅读器的协议转换规则,将“03D9”转换得到国家编码 985、“20D454BD42”转换得到国内产品唯一编码 141001276738。

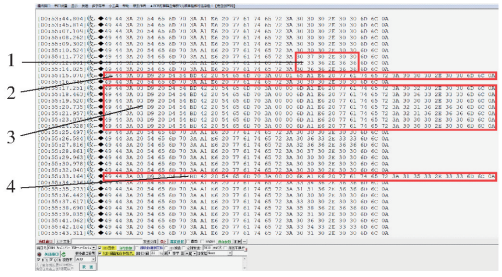

图 7 上位机接收到的监测数据

Fig. 7 Monitoring data received by host computer

1. 饮水量数据 2. 身份 ID 和体温数据 3. 连续的身份 ID、体温和饮水量数据 4. 1 次身份 ID、体温和饮水量数据

如图 7 所示,试验中对不同监测事件进行了测试,包括未读取到身份 ID 和体温,只有饮水量数据;读取到身份 ID 和体温数据,但没有饮水量;连续读取到身份 ID、体温数据,同时监测到饮水量;只读取到一次身份 ID、体温和饮水量,分别对应图 7 中的 1、2、3、4。以上结果充分证明,本监测系统可以同时完成对猪只身份 ID、体温和饮水行为的监测。

3.3 芯片植入深度试验

为了测试植入式感温芯片的最佳读取距离,分别将 LifeChip 985 芯片和 Remex - X002 芯片植入猪肉的不同深度(模拟植入真实猪只体内),考虑猪只的毛发遮挡,试验中 RFID 阅读器接收器的封装深度为 0.3 cm,分别将 LifeChip 985 芯片和 Remex - X002 芯片植入 0.5、1.0、1.5、2.0 cm 4 种不同深度,如图 8 所示。

本文 RFID 阅读器对植入式 RFID 芯片的读取测试结果如表 1 所示。最大读取距离表示 RFID 天线与芯片的距离,包含天线封装深度、空气中传播距离(阅读器表面到猪皮的距离)和植入深度 3 部分。可以看出,植入深度越深,空气中传播距离越短,这显然会降低识别的灵活性和成功率。当 LifeChip 985 芯片植入达到 1.5 cm 时,无法读取;相反,Remex - X002 芯片依然可以正确被识别。显然,LifeChip 985 芯片因为带有温度测量功能,芯片功耗更大,导致植入的深度更浅。

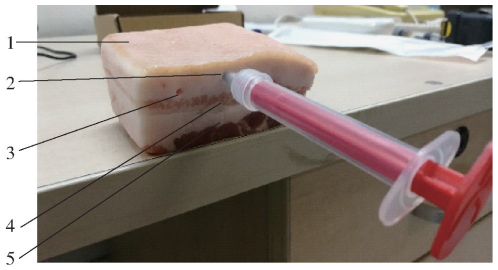

图 8 芯片植入深度试验

Fig. 8 Chip implant depth test

1. 测试猪肉 2. 植入 0.5 cm 位置 3. 植入 1.0 cm 位置 4. 植入 1.5 cm 位置 5. 植入 2.0 cm 位置

表 1 芯片植入深度试验结果

Tab. 1 Chip implant depth test results

植入深度/cm	LifeChip 985 芯片			Remex - X002 芯片		
	天线封装深度/cm	最大读取距离/cm	是否读取到结果	天线封装深度/cm	最大读取距离/cm	是否读取到结果
0.5	0.3	1.3	是	0.3	1.5	是
1.0	0.3	1.6	是	0.3	1.8	是
1.5	0.3		否	0.3	2.0	是
2.0	0.3		否	0.3		否

为了测试 RFID 阅读器对读取距离的影响,表 2 列出了配套阅读器 SURE 和本文阅读器对 LifeChip 985 芯片读取的对比试验结果。当植入深度超过 1.5 cm 时,本文阅读器已经无法识别,但配套的 SURE 阅读器却可以成功识别。由于 LifeChip 985 芯片带有的注射器针头长度为 3.0 cm,在植入深度为 3.0 cm 以内时,均可以成功读取。因此,RFID 阅读器功率是影响识别距离的一个重要因素。

表 2 RFID 阅读器性能对比试验结果

Tab. 2 Comparison test results of RFID reader performance

植入深度/cm	是否读取到结果	
	本文阅读器	SURE 阅读器
0.5	是	是
1.0	是	是
1.5	否	是
2.0	否	是
3.0	否	是

由图 8 可知,当植入深度为 1.5 cm 时,已经到达表皮以下的第 1 层肌肉,虽然本方案不能正确识

别芯片，但当植入深度为 1.0 cm 时，最大读取距离为 1.6 cm，在猪只饮水时站立不动，相对静止状态下已经能够满足猪只体温的测量需求。如需要更深的植入，则采用更大功率的 RFID 阅读器即可。

3.4　体温变化监测试验

由于将芯片植入到猪肉中温度保持不变，为了更直观地反映猪只体温的变化，本试验中将 LifeChip 985 芯片放于手面并覆盖上约 0.5 cm 的猪肉，通过手部的温度来改变当前的温度，随着时间的增加，芯片监测到的温度数据会有明显变化，以此来模拟猪只体温的变化情况。

如图 9 所示，在 15:31:33 ~ 15:32:10 期间，体温数据依次为 0x000015、0x000017、0x00001A、0x00001B，并且体温 0x000017 有一段时间保持不变，因此，本试验充分证明本文监测系统适用于猪只体温的自动监测。

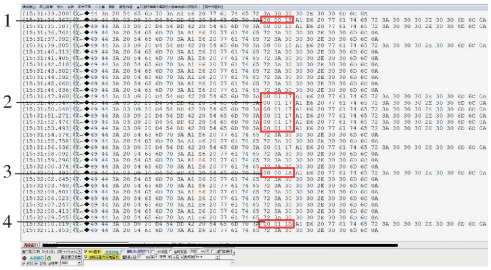

图 9　体温变化监测试验结果

Fig. 9　Body temperature change monitoring test results

1. 0x000015　2. 0x000017　3. 0x00001A　4. 0x00001B

3.5　饮水行为监测试验

采用涡轮式流量传感器监测饮水行为，试验中利用气体流动代替水流，通过对涡轮式流量传感器吹气，并调节吹气的速度和时间模拟猪只的饮水行为。

图 10 表明，对于不同时长的饮水行为，如 1、2、4、6 s，都可以监测到具体的流量，并且可以精确到小数点后 2 位，单位为 mL，如“30 38 33 2E 33 33”。此试验证明，该系统可以对猪只的不同饮水行为进行自动监测。

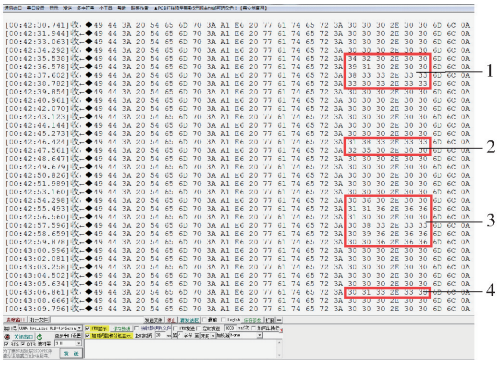

图 10　饮水行为监测试验结果

Fig. 10　Drinking water behavior monitoring test results

1. 连续饮水 4 s　2. 连续饮水 2 s　3. 连续饮水 6 s　4. 连续饮水 1 s

4　结论

（1）采用植入式 RFID 感温芯片和水流量传感器，设计并实现了猪只体温及饮水监测系统。将植入式 RFID 感温芯片应用于集中式养殖环境下猪只体温的监测，1 个猪圈共用 1 套监测设备，降低了成本。基于集中式猪圈饮水碗安装布局，设计了一种可升降挡板，可以精准定位到芯片植入位置，提高识别成功率，并能满足不同生长期猪只的监测需求。

（2）基于猪只模型的试验结果表明，本系统支持不同深度猪只体表温度的测量，可以对猪只身份 ID、体温和饮水量进行实时、自动、连续监测，为猪病的预警和诊断提供了数据支撑。

参　考　文　献

[1] 郝飞，张华，汤德元，等. 我国规模化猪场主要病毒性疫病的综合防控对策[J]. 畜牧与兽医，2012，44(10)：86－89.

[2] 国家中长期动物疫病防治规划(2012—2020 年)[EB/OL]. http：//www. gov. cn/zwgk/2012－05/25/content_2145581. htm.

[3] 邱杨，赵丽，卢小雨，等. 五种动物疫病诊断方法研究进展[J]. 动物医学进展，2012，33(12)：156－160.
QIU Yang，ZHAO Li，LU Xiaoyu，et al. Progress on diagnostic techniques of five kinds of animal epidemics[J]. Progress in Veterinary Medicine，2012，33(12)：156－160. (in Chinese)

[4] MEI J，RIEDEL N，GRITTNER U，et al. Body temperature measurement in mice during acute illness：implantable temperature transponder versus surface infrared thermometry[J]. Scientific Reports，2018，8(1)：3526.

[5] MARTÍNEZ-AVILÉ E M，FERNÁNDEZ-CARRIÓNE J M，LÓPEZGARCÍA-BAONES J M，et al. Early detection of infection in pigs through an online monitoring system[J]. Transboundary & Emerging Diseases，2015，64(2)：364－373.

[6] 陆明洲，沈明霞，丁永前，等. 群养母猪饮水行为自动监测系统设计[J]. 南京农业大学学报，2013，36(5)：133－138.
LU Mingzhou，SHEN Mingxia，DING Yongqian，et al. Design of automatic system for drinking behavior monitoring in group housed sows[J]. Journal of Nanjing Agricultural University，2013，36(5)：133－138. (in Chinese)

[7] 任晓明. 猪病临床快速诊疗指南[M]. 北京：中国农业出版社，2013.

[8] FINKENZELLER K. RFID handbook[M]. 2nd. John Wiley & Sons，2003.

[9] HAMMER N，ADRION F，STAIGER M，et al. Comparison of different ultra-high-frequency transponder ear tags for simultaneous detection of cattle and pigs[J]. Livestock Science，2016，187：125－137.

[10] CAJA G, HERNANDEZJOVER M, CONILL C, et al. Use of ear tags and injectable transponders for the identification and traceability of pigs from birth to the end of the slaughter line[J]. Journal of Animal Science, 2005, 83(9):2215 - 2224.
[11] DEY S, SAHA J K, KARMAKAR N C. Smart sensing: chipless RFID solutions for the internet of everything[J]. IEEE Microwave Magazine, 2015, 16(10):26 - 39.
[12] GOODWIN S D. Comparison of body temperatures of goats, horses, and sheep measured with a tympanic infrared thermometer, an implantable microchip transponder, and a rectal thermometer[J]. Journal of the American Association for Laboratory Animal Science,1998, 37:51 - 55.
[13] ARIFF M H, ISMARANI I, SHAMSUDDIN N. RFID based systematic livestock health management system[C]//2014 IEEE Conference on Systems, Process and Control (ICSPC 2014), Kuala Lumpur, 2014:111 - 116.
[14] ANDERSEN M L, JØRGENSEN E, DYBKJÆR L, et al. The ear skin temperature as an indicator of the thermal comfort of pigs[J]. Applied Animal Behaviour Science, 2008, 113(1 - 3):43 - 56.
[15] 朱伟兴,李新城,王威,等. 基于机器视觉的猪的体温监测方法:102499649A[P]. 2012 - 06 - 20[2019 - 05 - 25].
[16] HENTZEN M, HOVDEN D, JANSEN M, et al. Design and validation of a wireless temperature measurement system for laboratory and farm animals[J]. Processing of Measuring Behavior,2012,8:466 - 471.
[17] KRIZANAC D, HAUGK M, STERZ F, et al. Tracheal temperature for monitoring body temperature during mild hypothermia in pigs[J]. Resuscitation, 2010, 81(1):87 - 92.
[18] 柏广宇,刘龙申,沈明霞,等. 基于无线传感器网络的母猪体温实时监测节点研制[J]. 南京农业大学学报,2014,37(5):128 - 134.
BAI Guangyu, LIU Longshen, SHEN Mingxia, et al. Design of sow body temperature monitoring node based on wireless sensor network[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2014,37(5):128 - 134. (in Chinese)
[19] NEWSOM D M, BOLGOS G L, COLBY L, et al. Comparison of body surface temperature measurement and conventional methods for measuring temperature in the mouse[J]. Contemporary Topics in Laboratory Animal Science,2004, 43:13 - 18.
[20] QUIMBY J M, OLEA-POPELKA F, LAPPIN M R. Comparison of digital rectal and microchip transponder thermometry in cats [J]. Journal of the American Association for Laboratory Animal Science, 2009,48: 402 - 404.
[21] KRUSE S, TRAULSEN I, SALAU J, et al. A note on using wavelet analysis for disease detection in lactating sows[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 77(1):105 - 109.
[22] 闫丽,沈明霞,刘龙申,等. 猪行为自动监测技术研究现状与展望[J]. 江苏农业科学,2016,44(2):22 - 25.
[23] 赵一广,杨亮,郑姗姗,等. 家畜智能养殖设备和饲喂技术应用研究现状与发展趋势[J]. 智慧农业,2019,1(1):20 - 31.
ZHAO Yiguang, YANG Liang, ZHENG Shanshan, et al. Advances in the development and applications of intelligent equipment and feeding technology for livestock production[J]. Smart Agriculture, 2019, 1(1): 20 - 31. (in Chinese)
[24] 杨秋妹,肖德琴,张根兴. 猪只饮水行为机器视觉自动识别[J]. 农业机械学报,2018,49(6):239 - 245.
YANG Qiumei, XIAO Deqin, ZHANG Genxing. Automatic pig drinking behavior recognition with machine vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2018,49(6):239 - 245. (in Chinese)
[25] 杨威,俞守华. 视频监控技术在生猪规模化养殖中的应用[J]. 现代农业装备,2014(4):37 - 41.
[26] 谭辉磊,朱伟兴. 基于轮廓的猪只饮水行为识别[J]. 江苏农业科学,2018,46(15):166 - 170.
[27] KASHIHA M, AHR C, AREDASHT S A, et al. The automatic monitoring of pigs water use by cameras[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2013,90(1):164 - 169.
[28] 闫丽,邵庆,席桂清,等. 群养仔猪保育期饮水行为监测系统的设计[J]. 家畜生态学报,2016,37(5):56 - 60.
YAN Li, SHAO Qing, XI Guiqing, et al. Designed of monitoring system for group housed piglets' drinking behavior in conservation bar[J]. Acta Ecologiae Animalis Domastici,2016,37(5):56 - 60. (in Chinese)
[29] 高云,王帅,黎煊,等. 基于无线传感器网络的猪只饮水测量系统[J]. 科技创新与应用,2015(36):50 - 51.
[30] BRUNELL M K. Comparison of noncontact infrared thermometry and commercial subcutaneous temperature transponding microchips with rectal thermometry in rhesus macaques (macaca mulatta) [J]. Journal of the American Association for Laboratory Animal Science Jaalas, 2012, 51(4):479 - 484.
[31] 杨有涛,王子钢. 涡轮流量计[M]. 北京:中国计量出版社,2011.