

曲房低功耗无线温湿度检测系统设计与应用

孙 丽¹, 孙顺远^{1,2}

(1. 江南大学 物联网工程学院, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 轻工过程先进控制教育部重点实验室, 江苏 无锡 214122)

摘要:针对现代酒厂曲房发酵过程中测量温湿度方式落后问题,创新性地提出了一种检测酒曲发酵过程中温湿度实时变化、自动调节的低功耗无线温湿度检测系统,并对系统设计方案及软硬件进行了详细说明。系统以 STM8L 为核心, SX1278 为无线传输模块, 利用 C# 编写上位机程序, 节点间采用跳频机制确保通信稳定, 周期性唤醒机制满足系统低功耗的要求, 极大地降低了劳动强度, 提高了酒曲质量。

关键词:无线通信; 温湿度; SX1278

中图分类号: TP274⁺. 2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8829(2017)05-0029-04

Design and Application of Low Power Wireless Temperature and Humidity Detection System in the Stater-Making Workshop

SUN Li¹, SUN Shun-yuan^{1,2}

(1. School of Internet of Things Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Key Laboratory of Advanced Process Control for Light Industry Ministry of Education, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: In order to solve the problems that the fermentation temperature and humidity measuring way falls behind in modern distillery stater-making workshop, a low-power wireless temperature and humidity detection system for detecting real time changes and automatic adjustment of temperature and humidity during the koji fermentation is presented, and the system design and hardware and software are described in detail. STM8L is taken as the core of the system, SX1278 is taken as wireless transmission module, the PC program is complied with C#, frequency hopping mechanism is used to ensure the stable communication for inter-node, periodic wake-up mechanism can meet the requirement of low power consumption of the system, which greatly reduces the labor intensity and improves the quality of koji.

Key words: wireless communication; temperature and humidity; SX1278

酒曲的好坏在一定程度上直接影响酒的优劣。在影响酒曲质量的诸多因素中,温湿度的变化情况十分关键。酒曲发酵长期以来一直靠传统人工操作,工人凭借经验开关窗,控制曲房发酵温湿度,这样不仅使劳动强度增加,效率低,造成测量数据不准确,酒曲产量和质量降低,也使发酵过程实时变化难以了解^[1]。基于以上问题并结合曲房特殊发酵环境,提出一种低功耗无线温湿度检测系统。本系统采用意法半导体推出的超低功耗单片机 STM8L 系列芯片和 SX1278 无线射频芯片,有效检测曲房中的温湿度变化情况并将每个

时段的数据保存,同时也根据温湿度数据控制曲房开关窗,利用加热器或大功率排风扇对曲房内的温度及时进行控制。温湿度子节点采用周期性休眠和唤醒机制,曲房内采用统一频段,利用 TDMA(时分复用)机制避免冲突,曲房间采用不同频段,使各个曲房工作在不同信道互不干扰。数据传输节点采用数据汇聚技术,将测得的数据汇聚成一个包通过 RS485 总线传送给上位机^[2]。此检测系统不仅成本低、功耗小、安装方便,而且能够精确测量曲房中的温湿度,并将其控制在一定限度内。

1 系统结构设计

整个系统主要包括分节点、数据传输和数据处理 3 个部分。分节点部分主要由意法公司 STM8L 系列的单片机、温湿度传感器、温湿度调节模块、无线模块 SX1278 以及电源组成,负责将采集的数据通过

收稿日期:2016-08-08

作者简介:孙丽(1991—),女,山东临沂人,硕士研究生,主要研究方向为控制工程及应用;孙顺远(1984—),男,山东烟台人,博士,副教授,主要从事过程控制与优化、现场总线及控制技术、无线传感器网络及通信等的研究。

SX1278 发送给上位机(PC机),同时接收上位机发送的指令对酒曲房的温湿度进行调节。此部分在各个酒曲房中都分布一个,按照酒曲房的大小可以布置若干温湿度传感器。数据传输部分由 STM8L 单片机、无线模块 SX1278 及 SP485R 通信模块组成,单片机将实时接收的数据进行储存,直接通过 RS485 总线将数据上传至终端上位机,上位机通过无线通信协议与温湿度传感器通信,发送指令。数据处理部分主要是人机操作界面,曲房的液晶屏通过串行总线与上位机通信,将温湿度及相应采集参数显示在屏幕上,同时通过计算机软件将各曲房的数据与标准值进行对比,数据差异较大的曲房,系统将自动进行温湿度调节。整体结构如图 1 所示。

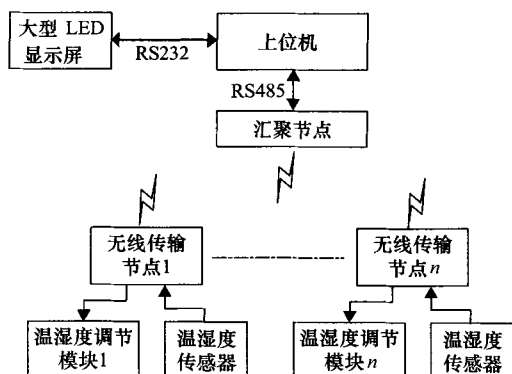


图1 系统结构

2 系统硬件设计

2.1 数据传输节点设计

数据传输节点主要是将温湿度数据进行收集和传送,由 STM8L 单片机、SX1278 无线模块、RS485 通信模块等构成。主控开发板是意法半导体公司的基于 STM8L152C6T6 芯片制做的超低功耗 STM8L-DISCOVERY 单片机,此单片机采用独有的超低泄漏电流优化 130 nm 制程,电压范围为 1.65 ~ 3.6 V,内置 4 ~ 32 KB 闪存,1 KB 的数据 E²PRROM,多达 2 KB 的 SRAM,最先进的数模外设接口。同时,还具有低功耗嵌入式非易失性存储器和多个电源管理模式,包括 5.4 μ A 低功耗运行模式、3.3 μ A 低功耗待机模式、1 μ A 主动停机模式和 350 nA 停机模式。小于 1 μ A 的实时时钟和自动唤醒模块(AWU),有助于节省电能。单片机休眠进入 HALT 低功耗模式^[3]。

数据传输节点硬件结构如图 2 所示。图 2(a)数据汇集节点主要是将每个分节点的数据进行收集并传送给上位机,同时传送给上位机发送的指令;图 2(b)分节点主要是将温湿度节点采集的数据通过无线传输模块进行传输,并接收上位机发送的温湿度调节的指令,对各个曲房的温湿度进行相应调节。

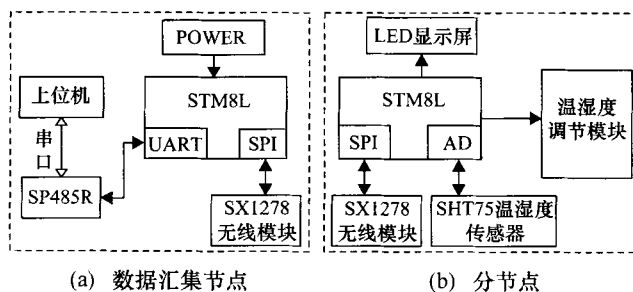


图2 硬件结构

2.2 无线模块

汇集节点和各无线传输分节点都有无线传输模块,采用 SX1278^[4] 收发器,他采用 LoRaTM 远程调制解调器,用于超长远距离扩频通信,自带 CRC(循环冗余检测)校验,自动射频信号检测,抗干扰能力强,能够最大限度降低电流消耗,对于曲房高温、高湿的信号干扰环境非常适用。SX1278 工作在 137 ~ 1020 MHz 频段,高接收灵敏度(低至 -148 dBm),9.9 mA 低接收电流,200 nA 寄存器保持电流,休眠模式下,芯片功耗低至忽略不计,满足了系统低功耗的要求。

2.3 温湿度传感器模块

SHT75 温湿度传感器是 Sensirion 公司推出的插针型封装系列,提供全标定的数字输出,具有低功耗、响应快、抗干扰能力强、可靠性高、稳定性好等优点。传感器由电容式聚合体测湿元件和能隙式测温元件组成,并与 14 位的 A/D 转换器以及串行接口电路实现无缝连接。该传感器的串行通信方式为模拟 I²C 总线。每读取一个数值,单片机与 SHT75 都将进行 CRC8 方式的循环冗余码校验,确保数据的准确性,同时也使系统具有传感器未接入或者故障报警的故障自诊断功能,其电路接口如图 3 所示,采用 10 k Ω 的上拉电阻^[5-7]。

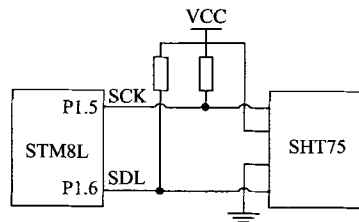


图3 传感器电路接口

2.4 温湿度调节模块设计

温湿度调节模块主要由开关窗模块和加热/降温模块两部分组成。当系统检测到的数据与标准值相差较大时,上位机通过汇集节点的无线传输模块发送指令给相应的分节点,当调节模块接受指令后,就会对曲房进行相应的开关窗操作,辅以加热/降温操作及时将曲房中的温湿度控制在标准范围内。

2.4.1 开关窗模块

开关窗模块主要由无线通信、控制、电源、位置检

测和电机传动等模块组成,能自动开启和关闭窗口。窗体上装有无线通信模块和控制模块,控制模块还与窗框上的电机传动模块和位置检测模块相连,当计算机通过软件分析测得的温湿度数据与标准输入值相差较大时,上位机就会通过无线通信模块向控制模块发送命令,从而使位置检测模块开始工作,再使电机传动模块开始工作^[8]。

2.4.2 加热/降温模块

加热/降温模块采用中断控制技术,通过单片机发送中断信号,利用正反相电压实现加热/降温功能的互换,从而达到控制外部电路设备的目的。当曲房温度过低/高时,上位机调用调节程序,输出低/高电平,使外接电源接通,触发加热/降温器。当加热/降温到达设定时间时,电源自动断开,重新进行温湿度检测。图4为风机控制电路图。该模块采用24 V直流电源直接供电,利用STM8L单片机IO口输出PWM信号,通过光耦合器和驱动电路控制风机的停开和转速^[9]。

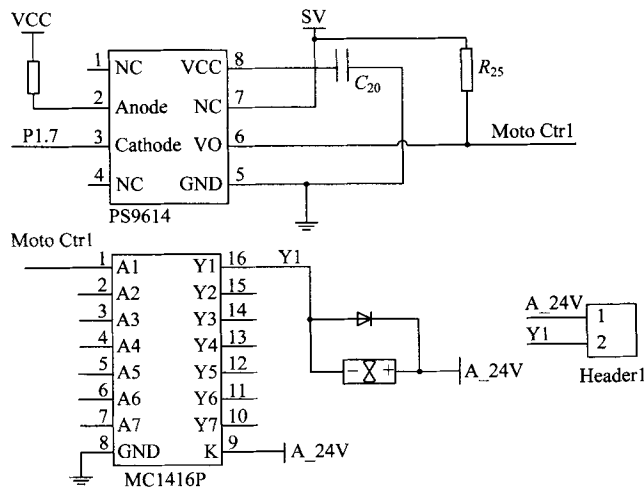


图4 风机控制电路

3 系统软件设计

3.1 数据传输程序设计

数据传输程序的功能主要分为两个部分:实现 RS485 总线与 PC 机的交互和接收 PC 机发送的读取温湿度数据命令实现 SX1278 组内短距离无线通信。传输节点在无线传输中起着中继站的作用,实现数据和指令的转发。程序流程如图 5 所示。

串口中断程序实时监听上位机,当上位机发送读取温湿度数据命令时,传输节点进入中断程序,组内感知节点按照 TDMA(时分复用)时隙向其逐一发送数据,组间按照跳频机制分配的信道发送数据。传输节点采用类似于 ARQ 重传机制确保点间数据可靠传输;采用简单的握手协议确保数据交换的实时性和可靠性^[10];采用通过接收 ACK 包来确定数据传输成功。

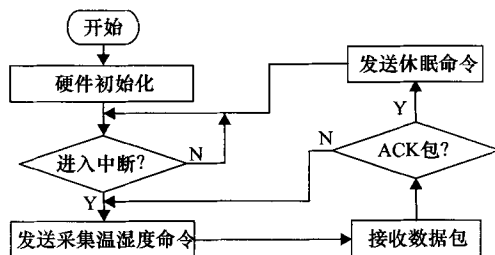


图 5 传输程序流程图

STM8L 通过 SX1278 的 SPI 接口来配置寄存器实现数据的接收发送。SX1278 接收到数据后,将数据保存在 FIFO 中,数据接收完毕后进行 CRC 校验,校验通过后,发出读取数据信号,STM8L 通过 SPI 接口读取 FIFO 中的数据。

3.2 温湿度节点程序设计

温湿度节点程序的主要功能是等待上位机发送通信命令,采集温湿度数据,然后通过无线传输发送给上位机。感知节点采用锂电池供电,为实现低功耗,程序采用周期性唤醒机制,各模块初始化后,系统进入低功耗 HALT 模式。程序使用 STM8L 的 RTC 定时唤醒到达工作时间的子节点,另外设有按键中断,方便工人进行查看。通信结束后,各模块进入休眠状态,极大降低了系统功耗。温湿度感知节点流程图如图 6 所示。

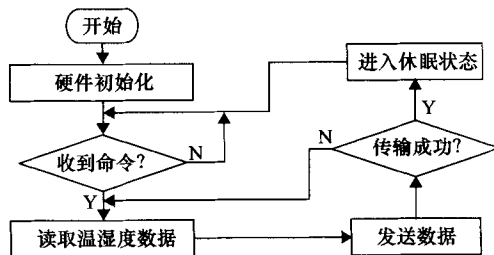


图 6 温湿度节点流程图

3.3 温湿度调节程序设计

上位机对接收到的数据进行分析,在合适范围内,不进行任何操作。否则,上位机就会通过无线通信模块向控制模块发送命令,判断当前窗户所处状态,位置模块开始工作,同时加热/降温模块开始工作。如果温度偏低,窗户处于打开状态,则电机传动模块开始工作,使窗户关闭,上位机发出指令,加热器开始工作;温度偏高,窗户处于打开状态,则只有风机工作。整个工作过程如图7所示。

3.4 通信协议

本系统中节点间通信的稳定,是实现温湿度检测及调控的关键。结合本系统低功耗、多节点数据传输避免冲突等要求,采用 S-MAC 协议。该协议周期性侦听和睡眠低占空比、节省能量,在同一间曲房中,多个节点的通信是同步的,它们同时侦听同时进入休眠。在不同曲房中,节点间的通信不同步,这时节点通过周

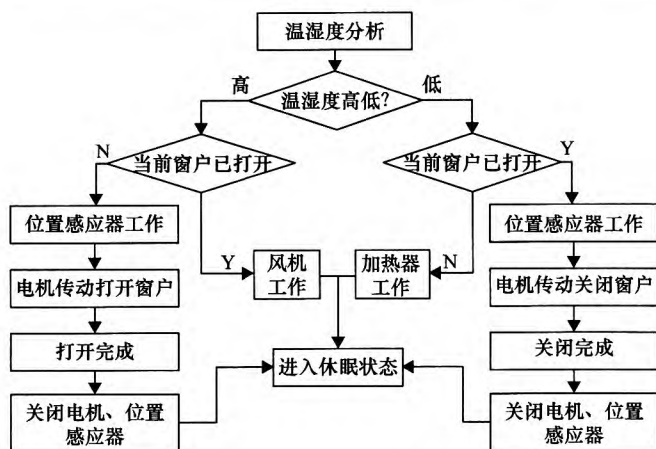


图7 开关窗流程图

期性地广播 SYNC 包交换自己的通信时间表。S-MAC 协议沿用 IEEE 802.11 的 RTS/CTS 机制降低碰撞概率,将节点构成平面型对等拓扑结构,在公用时间表中形成虚拟簇,与对等节点直接通信,其通信格式如表 1 所示。

表1 通信格式

Preamble	Sync Word	Packet Length	Payload	CRC
1B	2B	1B	用户配置	2B

3.5 上位机程序设计

上位机功能实现采用高级程序设计语言 C#, 串口通信通过 .NET Framework 集成的 SerialPort 控件完成。开发环境采用 Visual Studio 2010, 主要功能包括串口通信、参数设置、数据处理、数据库链接、设置标准温湿度参数、数据分析、绘制温度曲线图^[11-12]。上位机控制界面如图 8 所示。

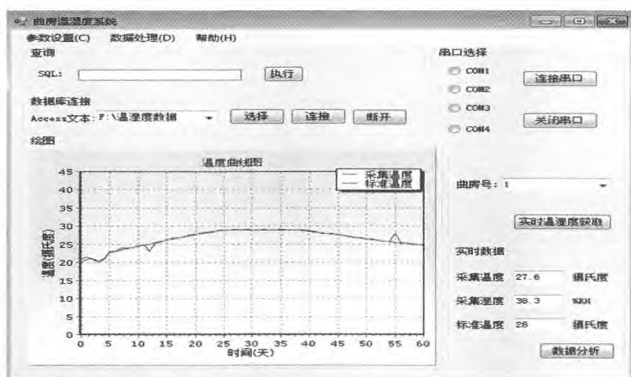


图8 控制界面

4 试验及分析

对温湿度检测系统进行试验研究,每间曲房中设置多个传感器,8组节点分别工作在以 433 MHz 为中心频率的信道上。上位机每隔 70 min 采集一次曲房温湿度数据,每一个时间点,对应 8 组数据,数据的误码率几乎为 0。在界面上,每间曲房采集的多个节点

温度数据被拟合成一条曲线,与对应的每个时间点的标准温度值进行比较,结果发现在发酵的第 12 天和第 55 天发酵温度有明显偏差,系统进行两次温湿度调节操作,无线通信取得良好效果。

5 结束语

本文提出一种针对曲房的温湿度检测系统,该系统以 STM8L 为核心,通过上位机发送命令读取数据,利用无线模块 SX1278 传输由 SHT75 采集的温湿度数据,解决了高温、高湿环境下工人劳动强度大、测量数据不准确、温湿度数据变化实时难以了解等问题。系统硬件中自带的 CRC 校验,确保了数据传输的准确性,避免了数据传输过程中信号干扰问题。周期性唤醒机制,满足了系统低功耗的要求。除温湿度检测外,系统的温湿度调节模块,在曲房的温度发生异常时,控制曲房调节曲房温湿度。试验结果表明,该系统满足曲房温湿度检测的要求,是曲房测温湿度的很好方案,在应用领域和应用前景方面,有很大的发挥空间。

参考文献:

- [1] 李安军,何宏魁.“基于物联网技术的数字化曲房综合管控系统”在浓香型白酒生产过程中的应用[J]. 酿酒科技,2014(2):63-64,67.
- [2] 王志勇,孙顺远,徐保国. 基于 SI4463 的低功耗无线窖池测温系统的设计与应用[J]. 计算机测量与控制,2014,22(2):519-523.
- [3] 刘海成,叶树江,郭强. STM8 单片机原理与实践[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2013:4-5.
- [4] 王瑞,李跃忠. 基于 SX1278 的水表端无线抄表控制器[J]. 电子质量,2015(12):67-68,74.
- [5] 曾宇,宋永端,王弼弼. 基于 Proteus 和 Keil 软件的温室环境监测系统开发[J]. 农业工程学报,2012,28(14).
- [6] 马东,王万岗,蒋强,等. 基于 RS485 总线的温湿度在线监测系统[J]. 中国农机化学报,2013,(2):121-126.
- [7] Gao Z Y, Jia Y J, Zhang H W, et al. A design of temperature and humidity remote monitoring system based on wireless sensor network technology[C]//IEEE International Conference on Control Engineering and Communication Technology. 2012:896-899.
- [8] 贺道坤,段向军. 用于环境检测的智能窗户装置研究[J]. 工业安全与环保,2014(10):66-67.
- [9] 刘伟. 基于单片机的风机温度控制系统的设计[J]. 电子技术,2009,36(9):42-44.
- [10] 贝伟仰,江虹. 基于红外测温的无线温度监测系统的研究[J]. 计算机测量与控制,2011,19(10):2397-2400.
- [11] 李修荣,高瑜翔,罗爱民. 酒曲房温湿度检测系统[J]. 测控技术,2014,33(11):50-52,56.
- [12] 刘培林,史莜中. C#可视化程序设计案例教程[M]. 3 版. 北京:机械工业出版社,2015.

□