

基于 ESP32 的智慧农业温湿度监测系统设计与教学应用研究

夏心怡 张宾 杨旭娇

无锡城市职业技术学院, 中国·江苏 无锡 214000

摘要: 论文基于学校智慧农场实景实训场, 设计并实现了基于 ESP32 单片机的温湿度数据采集系统。该系统以 DHT22 传感器为核心, 结合 MQTT 协议构建物联网数据采集平台, 采用 Spring Boot 框架开发后端服务, 并引入时间同步机制。作为物联网技术应用的典型案例, 该系统不仅为智慧农场建设提供技术支持, 更为物联网课程教学改革提供了实践平台, 有效培养了学生的创新能力和工程实践能力, 对推进工科教育改革具有积极意义。

关键词: 智慧农场; 教学改革; ESP32; 实践教学

Design and Teaching Application Research of Smart Agriculture Temperature and Humidity Monitoring System Based on ESP32

Xinyi Xia Bing Zhang Xujiao Yang

Wuxi City College of Vocational Technology, Wuxi, Jiangsu, 214000, China

Abstract: This paper presents the design and implementation of a temperature and humidity data acquisition system based on the ESP32 microcontroller, developed within the context of the university's smart farm practical training field. The system, centered around the DHT22 sensor and integrated with the MQTT protocol, establishes an IoT data collection platform. It employs the Spring Boot framework for backend services and incorporates a time synchronization mechanism. Serving as a typical case of IoT technology application, this system not only provides technical support for the construction of the smart farm but also offers a practical platform for the reform of IoT-related courses. It effectively enhances students' innovative capabilities and engineering practical skills, contributing positively to the advancement of engineering education reform.

Keywords: smart farm; teaching reform; ESP32; practical teaching

0 前言

在当前深化教育改革、推进新工科建设的背景下, 教育部《关于加快建设发展新工科实施卓越工程师教育培养计划 2.0 的意见》强调深化产教融合, 加强实践创新能力培养。随着农业现代化进程加快, 物联网技术在智慧农业中的应用日益广泛, 对高校人才培养提出了新要求。然而, 传统工科教育存在理论与实践脱节、创新能力不足等问题, 难以满足现代农业科技对复合型人才的需求。为此, 本研究以教育理念为指导, 依托学校智慧农场实景实训基地, 构建了“教—学—做”一体化的实践教学体系。通过设计基于 ESP32 的温湿度数据采集系统, 将物联网技术、嵌入式开发、数据通信等专业知识融入真实农业场景, 实现了专业教育与劳动教育的有机融合。这一改革不仅解决了传统教学“重理论、轻实践”的问题, 还通过项目式学习(PBL)模式, 有效提升了学生的工程实践能力和创新思维。研究表明, 该教学模式显著提高了学生的学习积极性和实践能力, 为新工科背景下的教学改革提供了有益借鉴, 对培养适应现代农业发展的高素质应用型人才具有重要意义。

温湿度是农业生产中极为重要的环境参数, 对植物生

长和作物产量有着重要影响。传统的温湿度采集通常采用有线传输方式, 但农业生产一般在范围较大的室外场景进行, 有线传输方式的建设和维护成本较高。因此, 利用物联网技术实现农场温湿度数据的无线采集具有重要意义^[1]。ESP32 单片机是由乐鑫科技推出的一款低功耗、高性能的双核处理器, 内置 Wi-Fi 和蓝牙模块, 广泛应用于物联网、智能硬件等领域^[2]。论文基于 ESP32 单片机模组设计了一套智慧农场温湿度采集系统, 通过该系统, 农场管理者可以通过无线实时监测农场内的温湿度数据, 及时采取措施, 调整环境条件, 实现智能化精准管理。

1 总体方案设计

论文旨在设计一个无线温湿度采集系统, 其总体架构如图 1 所示。系统主要分为温湿度采集节点和数据采集存储服务器两部分。温湿度采集节点由 ESP32 单片机模组、电源模块、DHT22 温湿度传感器构成, 用于采集温湿度数据, 并将采集的数据通过 WIFI 发送到数据采集存储服务器; 数据采集存储服务器上开发部署了数据库存储服务、定时服务、MQTT Broker 以及 MQTT Subscriber 等模块, 用于接收

并存储温湿度采集节点发送的采集数据，并为温湿度采集节点提供定时服务。本系统由一个数据采集存储服务器和多个温湿度采集节点构成，能够实现多节点温湿度数据的可靠采集存储。

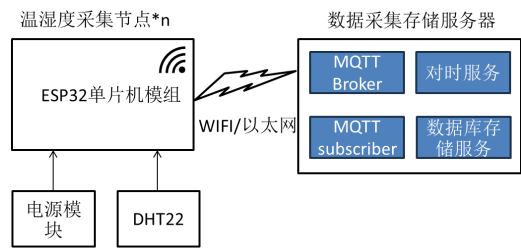


图 1 系统设计示意图

2 硬件设计

2.1 温湿度采集节点主控电路

论文选用 ESP32-S3-WROOM-1 模组作为温湿度采集节点的主控模块，其外围电路原理图如图 2 所示。

图 2 中包括 ESP32-S3-WROOM-1 模组的最小系统电路、DHT22 接口电路、状态指示 LED 等。最小系统电路包括晶振电路、复位电路、调试 UART 接口电路、JTAG 电路及启动方式选择电路等常见电路，论文不再赘述。主控模块电路中还包含两个 LED 指示灯，一个用于指示 WIFI 连接状态，一个用于指示数据传输状态，方便排查温湿度采集节点故障。

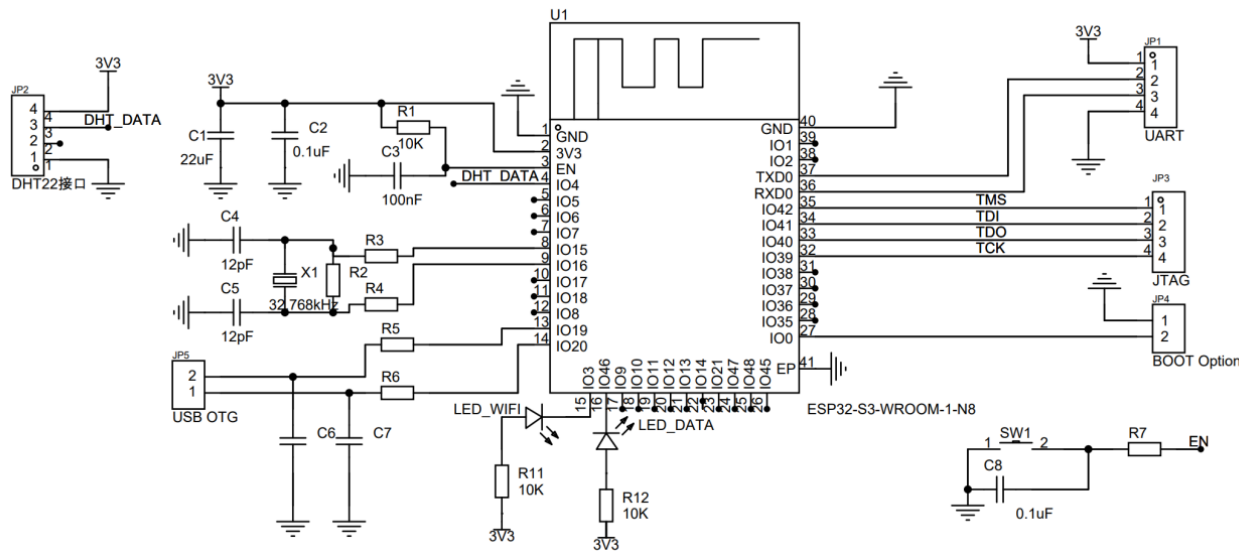


图 2 ESP32 主控模块外围电路原理图

2.2 温湿度传感器

论文选用 DHT22 作为温湿度采集传感器，它是一款具备标准单总线接口的数字信号输出温湿度复合传感器，与 DHT11 相比，它的温湿度测量范围更大，测量精度也更高^[3]。常用的 DHT22 模块有 4 个引脚，分别是 VCC、DATA、NC 和 GND，与主控模块通过图 2 中的 JP2 连接。DHT22 的技术参数如表 1 所示，能够满足智慧农场场景的需求。

表 1 DHT22 传感器技术参数

供电电压	DC: 3.3~5.5V
测量范围（温度）	-40℃~+80℃
测量范围（湿度）	0%~99.9%RH
温度精度	±0.5℃
湿度精度	±2%RH
分辨率	温度：0.1℃ 湿度：0.1%RH

2.3 电源电路

为保证温湿度采集节点能够正常工作足够长的时间，

论文采用大容量 18650 锂电池供电，锂电池输出电压范围为 3.0V 至 4.2V，而 ESP32 等模块的工作电压为 3.3V，论文首先采用升压型电压调整器 HX3608 将锂电池输出的电压转换到 5V，然后再使用正向低压降稳压器 AMS1117-3.3 将输出电压稳定在 3.3V，以保证主控模组电路的稳定工作，电路原理图如图 3 所示，其中 VBAT 是锂电池输入电压。

论文选用的 HX3608 是一款微小型、高效率、升压型 DC/DC 调整器，转换效率高达 93%，输入电压范围为 2~24V^[4]，能够覆盖锂电池的工作电压范围。该芯片可以通过修改图 3 中 R8 和 R9 的比值调整输出电压 $V_{OUT} = V_{FB} \times (1 + R8/R9)$ ，其中 $V_{FB} = 0.6V$ ， $V_{OUT} = 5V$ ，计算可得 $R8/R9 = 22/3$ ，HX3608 数据手册中指出，R8 应取百 K 级电阻，因此 R8 阻值取为 220K，R9 阻值取为 30K。

AMS1117-3.3 是一种输出电压为 3.3V 的正向低压降稳压器，在输入电压 V_{IN} 满足 $4.75V \leq V_{IN} \leq 12V$ 条件时，输出电压能够稳定在 3.267~3.333V，能够满足 ESP32 模组的电源需求。

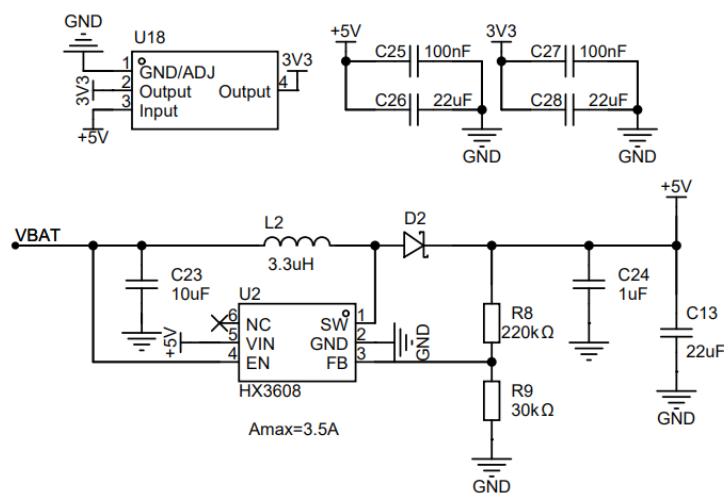


图 3 电源电路原理图

3 软件设计

3.1 温湿度采集节点软件设计

论文温湿度采集节点选用的主控芯片 ESP32 具备 Wi-Fi、蓝牙功能,凭借高性能、低成本优势在物联网 (IoT) 领域应用非常广泛,因此开源社区为 ESP32 适配了 MicroPython 固件。MicroPython 是为嵌入式系统设计的 Python 解释器,与传统的 C 语言开发相比,使用 MicroPython 可以更快速、更简便地构建嵌入式程序^[5]。鉴于此,论文选择使用 MicroPython 对 ESP32 主控模块进行开发。

温湿度采集节点软件的流程如图 4 所示, 软件采用单线程方式运行。温湿度采集节点上电后, 首先进行系统初始化工作, 包括初始化 WIFI 模块、DHT22 传感器模块等, 初始化完成后进行 WIFI 连接操作, Wi-Fi 连接成功后首先连接服务器上的对时服务, 校准采集节点本地时间。随后构建 MQTT 客户端并连接 MQTT 服务。完成以上工作后, 开始循环以下步骤:

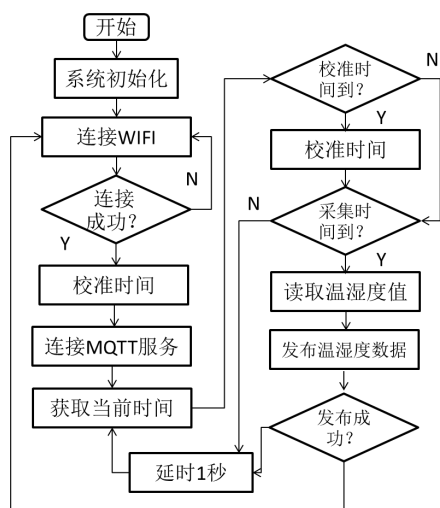


图 4 温湿度采集节点软件流程图

①判断是否到达校准时间,如果达到校准时间,则通

过服务器上的对时服务校准本地时间，校准完成后跳往步骤二。如果没有达到校准时间，则直接跳往步骤二。

②判断是否到达采集时间，如果到达采集时间，则读取 DHT22 的温湿度数值，并按照设定格式封装成 JSON 字符串，使用 MQTT 客户端发布到指定主题，如果发布失败，原因有可能是 WIFI 连接断开，也有可能是 MQTT 服务异常，为了处理方便，在发布失败的情况下，直接重新连接 WIFI 和 MQTT 服务。

3.2 数据采集存储服务器软件设计

数据采集存储服务器负责接收和存储采集节点发送的温湿度数据,如图 1 系统设计示意图中所示,数据采集存储服务器上主要部署 MQTT Broker、MQTT Subscriber、对时服务和数据存储服务。

3.2.1 MQTT Broker

在本项目中，MQTT Broker 负责接收来自温湿度采集节点发布的消息，并将其转发给数据存储服务中的订阅者，实现温湿度数据的传输。市面上有很多开源可选的 MQTT Broker，论文选择的是 EMQ-X，它支持 MQTT3.1/3.1.1/5.0 协议，支持完整的 QoS，单点部署也能支持 100 万级别连接，是一款十分优秀的开源 MQTT 服务器，能够满足温湿度采集系统的需求^[6]。

3.2.2 对时服务

为了防止诸多采集节点因长时间运行积累较大的时间误差，需要对其进行时间校准操作。对时服务器通常通过 NTP(Network Time Protocol, 网络时间协议)或 SNTP(Simple Network Time Protocol, 简单网络时间协议)将准确的时间信息分发给连接到它的客户端设备^[7]，Windows 系统可以通过简单的配置搭建 NTP 服务器，具体搭建过程不再赘述。这里需要注意的是，NTP 协议默认使用 UDP 123 端口，需要开启防火墙允许其他终端连接该端口。

3.2.3 MQTT Subscriber 和数据存储服务

MOTT Subscriber 和数据存储服务融合在一个应用程序

中,该应用程序基于 JAVA 语言使用 Spring Boot 框架开发,主要工作流程如下:

①根据配置信息初始化 MQTT 客户端,连接到指定的 MQTT Broker;②订阅温湿度数据主题,并设置消息 MQTT 消息监听器;③接收解析订阅的数据,提取出温湿度数据值;④将解析后的温湿度数据封装成特定的 Java 对象,通过数据库访问层存储到 MySQL 数据库中,以便后续进行查询、分析和处理等操作。

4 课程设计

4.1 教学目标

课程旨在通过将基于 ESP32 的温湿度检测系统融入教学,帮助学生掌握物联网技术的核心知识与技能,包括 ESP32 单片机应用、温湿度传感器数据采集、MQTT 通信协议及 Spring Boot 后端开发。通过硬件搭建、软件开发和实景实训,学生将提升实践动手能力、团队协作能力和创新思维,同时培养工程素养和职业素养,为未来在物联网领域的职业发展奠定坚实基础。

4.2 教学内容

4.2.1 理论教学

理论教学部分主要涵盖物联网技术的基础知识与应用,包括物联网的基本概念及其在智慧农业中的重要性,ESP32 单片机的功能特点及其在物联网中的典型应用,DHT22 温湿度传感器的工作原理与技术参数,MQTT 通信协议的基本原理及其在数据传输中的作用,以及 MicroPython 和 Spring Boot 框架在嵌入式开发和后端服务中的应用。通过系统讲解硬件设计、通信协议和软件开发的基础知识,为学生后续的实践操作奠定坚实的理论基础。

4.2.2 实践教学

实践教学部分依托智慧农场实景实训室平台,通过项目驱动的教学模式,指导学生完成 ESP32 温湿度检测系统的硬件搭建、软件开发和系统集成。学生在真实农业环境中进行硬件调试和软件测试,掌握数据采集、传输与存储的全流程,并通过项目式学习(PBL)培养团队协作与创新能力。实训室的真实场景帮助学生理解物联网技术在智慧农业中的应用,促进跨学科融合与职业素养的提升,最终通过项目展示与评价,全面锻炼学生的实践能力和解决实际问题的能力。

4.3 教学启示

①项目驱动增参与动机。项目驱动的教学方法能够显著提高学生的参与度和学习动机。通过将学生置于真实的项目环境中,他们能够更加直观地理解理论知识与实际应用之间的联系。②跨学科合作拓视野跨学科的团队合作是解决复杂问题的关键。在系统设计过程中,不同专业的学生需要协同工作,这种跨学科的合作模式不仅锻炼了学生的沟通能力,也拓宽了他们的视野。③实践强化问题解决力。实践过

程中的问题解决能力是学生必须掌握的重要技能。在系统设计和调试过程中遇到的各种技术难题,促使学生主动学习新知识,提高了他们的问题解决能力。④反馈改进促教学提升。持续的反馈和改进对于提高教学质量至关重要。通过对学生作品的评估和反馈,教师能够及时了解学生的学习情况,并据此调整教学方法和内容。

本研究基于 ESP32 单片机模组设计智慧农场温湿度采集系统,构建了“教—学—做”一体化的实践教学体系,为农业生产智能化管理提供了技术支持,同时为教学改革搭建了重要的实践平台。通过项目式学习(PBL)模式,学生能够将物联网、嵌入式开发等专业知识应用于真实农业场景,有效提升了实践能力和创新思维。研究结果表明,该教学模式显著提高了学生的学习积极性和实践能力,为新工科背景下的教学改革提供了有益借鉴。

未来,随着技术的不断进步和教育改革的深入推进,智慧农场平台将在项目促学、校企合作、个性化学习和可持续发展教育等方面发挥更大作用。通过集成先进传感器与自动化设备,学生能够接触更多学习资源,结合机器学习与数据分析技术优化农业生产;校企合作的深化将为学生提供行业前沿实践机会,推动产教融合;个性化学习路径和远程监控技术的应用,则进一步提升了学生的自主学习能力。此外,智慧农场还为可持续发展教育提供了实践基础,通过环保技术与可持续农业实践,培养学生的社会责任感和资源管理意识,为实现绿色发展和生态文明建设贡献力量。

参考文献:

- [1] 史晨浩,李成创,余佳庆,等.基于单片机的农业大棚温湿度采集控制系统的设计[J].电子制作,2023,31(13):92-94.
- [2] 乐鑫科技.ESP32-S系列产品介绍[EB/OL].[2023-07-08].<https://www.espressif.com.cn/zh-hans/products/modules>
- [3] 陈启和,陶玲,唐艳.蔬菜大棚智能监控系统设计[J].自动化应用,2024,65(7):191-193.
- [4] 深圳市亿创微芯电子有限公司.元器件产品HX/禾芯微HX3608[EB/OL].[2024-08-22].<https://elemchip.dzsc.com/product/1005826-20221110111151549.html>
- [5] 董俊杰,彭亚斌.MicroPython软件开发平台的ESP32-C3通信性能测试[J].单片机与嵌入式系统应用,2023,23(2):57-60+65.
- [6] 阎子繁.基于EMQX云平台与ESP-WiFi-MESH的物联网系统设计与实现[J].物联网技术,2023,13(6):133-137.
- [7] 迟宗岭,宋宪均,高景斌.SNTP协议分析及其在CPR1000系统中的应用[J].自动化博览,2021,38(10):64-67.

作者简介:夏心怡(1980-),女,中国江苏无锡人,硕士,副研究员,从事学生教育管理研究。

课题项目:无锡城市职业技术学院教改课题(项目编号:JGB2313)。