

基于 Bluetooth 的墨水屏桌牌控制系统研究

李爱民

(成都职业技术学院 成都 610041)

摘要 墨水屏桌牌作为一种可重复使用且易于更新内容的显示设备,越来越受到人们的青睐。然而,传统的墨水屏桌牌控制方式存在着局限性,如需物理连接或局域网访问。为解决这一问题,文中介绍了一种基于 Bluetooth 技术的墨水屏桌牌控制系统。该系统以 ESP32 微控制器为核心,利用其低功耗蓝牙功能实现了与移动设备的无线连接。通过开发相应的移动应用程序,用户能轻松地实现对墨水屏桌牌的内容更新和远程控制。此外,详细介绍了系统的硬件设计与软件开发过程,并进行了实际性能测试与评估。结果表明,所提出的基于 Bluetooth 的控制系统不仅提升了墨水屏桌牌的易用性和灵活性,同时具备了良好的稳定性和安全性,为墨水屏技术在实际应用中的推广提供了有力支持。

关键词: Bluetooth; 墨水屏; ESP32

中图分类号 TP399

Research on Ink Screen Table Card Control System Based on Bluetooth

LI Aimin

(Chengdu Polytechnic, Chengdu 610041, China)

Abstract Ink screen table cards, as a reusable and easy to update content display device, are increasingly favored by people. However, traditional ink screen table card control methods have limitations, such as requiring physical connections or local area network access. To address this issue, the paper introduces an ink screen table card control system based on Bluetooth technology. The system is based on the ESP32 microcontroller and utilizes its low-power Bluetooth function to achieve wireless connection with mobile devices. By developing corresponding mobile applications, users can easily update and remotely control the content of ink screen table cards. In addition, the hardware design and software development process of the system were detailed, and actual performance testing and evaluation were conducted. The results indicate that the proposed Bluetooth based control system not only improves the usability and flexibility of ink screen table cards, but also has good stability and safety, providing strong support for the promotion of ink screen technology in practical applications.

Key words Bluetooth, E-paper display, ESP32

0 引言

传统的墨水屏桌牌更新方法通常依赖于物理连接或局域网访问,这些方式存在着使用上的限制和操作上的不便。为应对这些挑战,本文提出了一种基于蓝牙的墨水屏桌牌控制系统。该系统以 ESP32 微控制器为核心,利用其强大的蓝牙功能,实现墨水屏与移动设备之间的无线通信。ESP32 微控制器具有低功耗、集成 Wi-Fi 和蓝牙连接功能,成为本系统的核心组成部分。通过蓝牙低功耗(BLE)技术,本系统实现了墨水屏显示内容的远程更新和显示操作的便捷控制,用户可通过专用的移动应用程序轻松管理墨水屏显示内容。本文提出的基于蓝牙的控制系统不仅提升了墨水屏桌牌的易用性,还为现代企业中信息显示与管理提供了一种高效的解决方案。

作者简介: 李爱民(1987—),硕士,讲师,研究方向为人工智能技术的应用。

1 蓝牙通信技术

1.1 蓝牙通信技术原理

蓝牙是一种短距离无线通信技术,旨在在设备之间实现高效、灵活、经济且安全的数据和语音传输。作为无线个人区域网络(WPAN)的主要技术之一,蓝牙利用低成本的近程无线连接,创建了固定设备和移动设备之间的专用无线通信网络。其核心在于提供通用的无线电接口,使得各种计算机和消费电子设备能在没有物理连接的情况下进行近距离数据交换。简言之,蓝牙技术利用低功耗无线电频率,实现了不同 3C 设备之间的数据传输。

1.2 蓝牙关键技术

蓝牙协议体系结构可以分为底层硬件模块、核心协议

层、高端应用层 3 部分,如图 1 所示。底层硬件模块分为物理层(PHY)和链路层(LL),物理层负责实际的无线信号传输和接收。在蓝牙中,物理层工作在 2.4 GHz ISM 频段,使用跳频扩频技术来减少干扰。它包括射频(RF)收发器和天线等硬件组件,可以处理信号的调制、解调和发射。链路层处理设备之间的基本通信任务,包括设备发现、连接建立、断开、数据传输和流量控制。链路层负责蓝牙设备的地址分配、同步以及在多个设备之间管理连接。

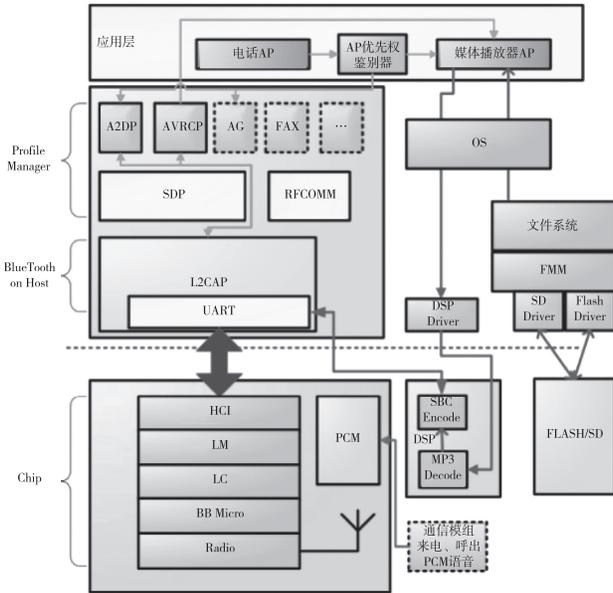


图 1 蓝牙协议体系

核心协议层分为控制器主机接口(HCI)、主机控制器协议(HCP)和主机层协议(Host Layer Protocols)。控制器主机接口作为硬件和软件之间的接口,提供了一个标准化的接口,用于在主机和控制器(底层硬件模块)之间交换数据和控制命令。HCI 允许上层应用与底层硬件进行通信,提供了一组 API 用于控制蓝牙设备的操作。主机控制器协议定义了主机与控制器之间的数据传输协议,负责将数据从链路层传输到主机层,包括用于管理蓝牙连接的控制命令、事件和数据包。主机层协议负责数据的处理和高层协议的实现。主机层协议由逻辑链路控制和适配协议(L2CAP)、服务发现协议(SDP)、安全管理协议(SMP)和链路管理协议(LMP)组成。L2CAP 提供了一个面向连接的接口,允许多路复用和分段组装数据包,支持数据流的优先级和质量控制。SDP 用于发现设备提供的服务,允许设备查询和识别其他设备提供的服务类型。SMP 负责设备之间的安全配对和加密密钥的管理,确保通信的保密性和完整性。LMP 处理蓝牙连接的控制功能,包括建立连接、设备认证和加密管理^[1]。

高端应用层分为蓝牙配置文件(Profiles)和应用程序接口(API)。蓝牙配置文件定义了具体应用场景下的协议和规范,确保不同设备和应用程序之间的互操作性。应用程序接口允许开发者使用蓝牙技术来创建和管理蓝牙连接,实现特定应用功能。API 提供了一组函数和接口,开发者

可以利用它们来进行设备发现、连接管理、数据传输等操作。

1.3 蓝牙数据包

在蓝牙技术中,基带处理两种主要的链路类型,即 SCO(同步连接)和 ACL(异步无连接)。SCO 链路是一种蓝牙连接,主要用于单个主单元和单个从单元之间的点对点通信。主单元通过预设的时间间隔维护这种连接,用于传输语音数据。ACL 链路是一种蓝牙连接方式,用于主单元与所有从单元之间的多点通信。主单元每个时隙可以建立一个 ACL 链路,而 ACL 链路可以支持数据包的重传功能。这种链路适用于数据通信,而不是语音传输。EDR(增强数据率)是一种协议,目的是提高蓝牙无线连接的带宽至 3 Mbps。与传统的蓝牙技术相比(1 Mbps),EDR 使数据传输速率提高了 3 倍。这意味着设备在同样的时间内可以完成更多的数据传输,从而减少了设备的运行时间和功耗。这带来了更快的连接速度,支持更多蓝牙链路,并实现了高带宽应用,如音频流。EDR 的速度提升部分归功于其数据包传输方式的根本性改进。

在蓝牙 EDR 中,数据包仍然使用 GFSK(高频移键控)调制接入码和数据包头,而对有效载荷则采用两种不同的调制方式。(1)p/4 差分四相移相键控(p/4-DQPSK)。这是一种强制性的调制方法,能提供两倍的数据速率,并对噪音有较高的容忍度。p/4-DQPSK 通过改变载波的相位而非频率相位,实现每个符号编码两个比特,从而提升数据速率。(2)8-DPSK。这种选择性的调制方法可以提供 3 倍的数据速率。8-DPSK 通过允许每个符号在 8 个可能的相位中选择,使得每个符号编码为 3 个比特。尽管 8-DPSK 能提供更高的数据速率,但由于相位间差异较小,它对干扰的敏感性也较高^[2]。

2 墨水屏通信与驱动原理

2.1 SPI 通信

在本系统的硬件构成方面,墨水屏桌牌控制系统使用了微雪 7.5 寸的三色墨水屏。系统中墨水屏采用 SPI 的通信方式与 MCU 进行通信。SPI(串行外设接口)是一种同步串行通信协议,主要用于短距离的数据传输。它通过 4 条基本线进行通信,MOSI(主设备输出从设备输入)用于从主设备发送数据到从设备;MISO(主设备输入从设备输出)用于从设备将数据发送回主设备;SCLK(串行时钟)由主设备生成,用来同步数据传输;CS(芯片选择)用于激活特定的从设备,通常为低电平有效。在 SPI 的通信流程中,首先进行初始化设置 SPI 的工作模式(如时钟极性、时钟相位)以匹配墨水屏的要求,配置 SPI 时钟频率,以确保数据传输稳定,设置数据位长度(通常是 8 位)。然后进行数据传输,主设备拉低 CS 信号线,选择目标墨水屏。再发送数据,主设备通过 MOSI 线发送命令或数据。墨水屏通过 MISO 线返回

数据。墨水屏再从 MOSI 接收命令或数据,最后主设备拉高 CS 信号线,结束当前通信。

2.2 墨水屏驱动原理

这种墨水屏使用“微胶囊电泳显示”技术来显示图像。其基本原理是带电的纳米粒子悬浮在液体中,当施加电场时,这些粒子会移动,从而形成图像。墨水屏依靠反射环境光来显示内容,因此不需要背光。在自然光条件下,墨水屏显示效果清晰,且视角接近 180°,使得电子纸显示屏特别适用于阅读。屏幕内包含大量微小的胶囊,每个胶囊内含有正负电荷的粒子。正粒子通常是白色或浅色,负粒子则是黑色或深色。通过施加电场,将粒子在胶囊内移动。正电场使得负粒子上移,负电场使正粒子上移。根据粒子的位置,屏幕显示出黑白或灰阶图像。电场的不同排列形成所需的文字或图案。一旦粒子排列完成,屏幕能保持图像不变,不需要持续电力,直到下一次更新。

墨水屏的编程原理涉及黑白图像的处理。可以用 0 表示黑色,1 表示白色,每个像素点(pixel)由 1 位二进制表示,所以一个像素点等于 1 bit。一个字节包含 8 个位,可以表示 8 个像素点。例如,16 个像素点可以用两个字节表示,其中前 8 个像素点用一个字节的 0 位表示黑色,后 8 个像素点用另一个字节的 1 位表示白色。计算机以高位在前、低位在后的方式存储数据,因此这 16 个像素点总共需要两个字节。对于 7.5 寸三色墨水屏,图像需要分为两部分:一部分用于黑白显示,另一部分用于红白显示。每个寄存器分别控制这些部分。假设有 8 个像素点,其中前 4 个是红色,后 4 个是黑色。在这种情况下,需要生成两个图像:一个黑白图像和一个红白图像。黑白图像的前 4 个像素点显示为白色,后 4 个像素点为黑色;而红白图像的前 4 个像素点显示为红色,后 4 个像素点为白色。每个图像都用 1 个字节表示,控制 8 个像素点^[3-4]。

3 低功耗 ESP32 及墨水屏技术

ESP32 有一个先进的电源管理单元(PMU),可以灵活地给芯片的不同电源域供电,在芯片性能、功耗和唤醒延迟之前取得最佳平衡,如图 2 所示。在睡眠模式下,大多数电源域已关闭。此时,ESP32-S3 中集成的超低功耗协处理器(ULP)仍可运行,从而实现极低的功耗。配置 PMU 的程序较为复杂。为针对典型场景简化电源管理,ESP32-S3 具有以下预设功耗模式,可给不同电源域组合供电。在 Active 模式下,CPU,RF 电路和所有外设都处于开启状态,芯片可以处理数据、接收、发射和监听信号。在 Modem-sleep 模式中,CPU 保持开启,但时钟频率降低,RF 电路在需要时间歇性地激活,从而保持无线连接。在 Light-sleep 模式下,CPU 停止工作,但仍可选择让部分组件保持开启。在此模式下,RTC 外设和 ULP 协处理器可以通过定时器间歇性唤醒,芯片可以由各种唤醒机制激活,包括 MAC,RTC 定时器或外

部中断,同时无线连接保持不变。部分数字外设可以选择关闭。Deep-sleep 模式则仅保持 RTC 上电,无线连接的数据存储在 RTC 存储器中。ESP32 的超低功耗协处理器(ULP)是一种专门设计用于极低功耗的处理器,能在主芯片进入深度睡眠模式时继续运行。它通过储存在 RTC 存储器中的程序,允许开发者访问 RTC 外设、内部传感器和 RTC 寄存器,从而在设备处于低功耗状态时仍能进行特定任务。在对功耗敏感的场景下,主 CPU 处于睡眠状态以降低功耗,协处理器可以由协处理器定时器唤醒,通过控制 RTC GPIO,RTC I2C、SAR ADC,温度传感器(TSENS)等外设监测外部环境或与外部电路进行交互,并在达到唤醒条件时主动唤醒主 CPU^[5-6]。

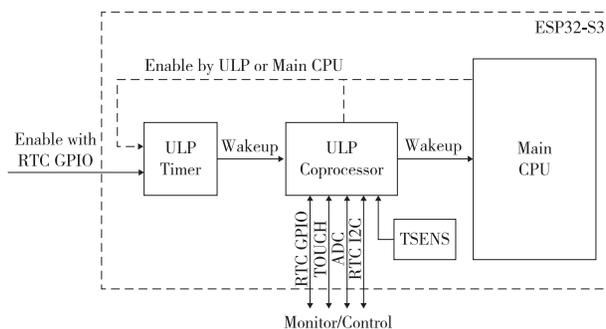


图 2 超低功耗处理器概图

4 结语

本文探讨了基于 Bluetooth 的墨水屏桌牌控制系统的设计与实现。通过结合 ESP32 的低功耗特性与墨水屏的高可读性,该系统实现了远程无线控制桌牌内容的功能。研究表明,Bluetooth 的无线通信技术为系统提供了便利的操作界面,并提升了用户体验。系统设计考虑了低功耗运行,优化了设备的续航时间,并通过实际测试验证了其稳定性与可靠性。未来,可以进一步提升系统的智能化水平,如通过集成更多传感器和优化算法来实现自动化控制,进一步提升系统的实用性与便捷性。

参考文献

- [1] 张元洲,梁晓瑜,叶青,等.基于物联网和蓝牙通信的无线电机监测设备设计及应用[J].现代电子技术,2024,47(14):77-82.
- [2] 施振家.一种复杂环境下基于物联网的墨水屏电子标牌终端组网方案[J].长江信息通信,2024,37(5):120-122.
- [3] 孙睿,孔佳仪,续明进,等.基于 ESP32 单片机的智能屏幕设计[J].北京印刷学院学报,2024,32(3):8-14.
- [4] 朱增,许俊文.一种墨水屏显示清屏的优化方法[J].电子技术与软件工程,2022(24):177-180.
- [5] 低功耗蓝牙/蜂窝物联网智能手表实现远程护理和 SOS 警报[J].单片机与嵌入式系统应用,2022,22(12):96.
- [6] 王世豪,颜锦奎.基于低功耗蓝牙的无线信号源设计[J].工业控制计算机,2021,34(8):53-54.