

基于蓝牙通信的车规级氛围灯复杂状态控制实验

万国春¹, 张彤¹, 谢丽宇²

(1. 同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804; 2. 同济大学 土木工程学院, 上海 200092)

摘要: 为了提高电子科学与技术相关专业学生的专业能力, 加深学生对接口和通信协议的理解, 拓宽他们关于嵌入式与蓝牙协同应用场景的了解, 开发了一种蓝牙通信的车规级氛围灯复杂状态控制实验, 在实际应用中为实现氛围灯复杂状态, 需要对 RGB 的占空比实现精确的控制, 并且在车规级的要求下, 需要降低在复杂状态下所产生的干扰, 实现难度非常大。文章采用车用芯片英迪芯开发板 RuGby 以及以 nRF51822 为核心的蓝牙模块, 通过蓝牙模块以及氛围灯复杂状态的控制, 帮助学生更好地了解蓝牙以及串口通信协议, 以及嵌入式开发流程和 PWM 调光调色技术。

关键词: 蓝牙通信; 复杂状态控制; 串口通信; PWM 调光调色

中图分类号: TP273; TN92 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-4956(2022)02-0045-05

Complex state control experiment of vehicle standard atmosphere lamp based on Bluetooth communication

WAN Guochun¹, ZHANG Tong¹, XIE Liyu²

(1. School of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China;
2. Colloge of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: In order to improve the professional ability of students majoring in electronic science and technology, deepen their understanding of interface and communication protocol, and broaden their understanding of embedded and Bluetooth collaborative application scenarios, a complex state control experiment of vehicle standard atmosphere lamp based on Bluetooth communication is developed. In practical application, to realize the complex state of atmosphere lamp, it is necessary to accurately control the duty cycle of RGB. Under the requirements of vehicle specification level, it is very difficult to reduce the interference in complex states. This experiment uses vehicle chip indie core development board RuGBy and the Bluetooth module with nRF51822 as a core to help students better understand Bluetooth and serial communication protocol, embedded development process and PWM dimming technology through the control of Bluetooth module and complex state of atmosphere lamp.

Key words: Bluetooth communication; complex state control; serial communication; PWM dimming and color adjustment

随着汽车电子行业的不断发展和汽车的普及, 消费者对汽车的个性化和人性化的追求也不断提升, 氛围灯在汽车上的应用也越来越多, 汽车车载氛围灯控制技术也不断地变革升级。PWM 调光方法是目前车载氛围灯控制较为常用的方法, 可以较好地解决 LED 长期点亮过程中颜色偏移、均匀性变差等问题^[1]。英迪芯作为汽车电子控制芯片的供应商, 推出的 RuGby

开发板基于 ARM cortex-M0 内核, 24 路最高 30 mA 的高压恒流源 LED 驱动器, 可以通过 UART 接口或者 LIN 接口进行通信, 在汽车电子行业有着广泛的应用。

本文实验旨在让学生了解嵌入式系统开发、串口通信原理、多模块直接的协同操作与通信, 以及实现对氛围灯复杂状态的控制, 为进行更深层次的接口以

收稿日期: 2021-09-06

基金项目: 国家自然科学基金 (52078375); 上海市高校市级重点课程建设项目 (202134)

作者简介: 万国春 (1968—), 江西南昌, 博士, 副教授, 研究方向为数字系统设计, wanguochun@tongji.edu.cn。

通信作者: 张彤 (1995—), 安徽淮南, 硕士, 研究方向为集成电路工程, 1932949@tongji.edu.cn。

引文格式: 万国春, 张彤, 谢丽宇. 基于蓝牙通信的车规级氛围灯复杂状态控制实验[J]. 实验技术与管理, 2022, 39(2): 45-49.

Cite this article: WAN G C, ZHANG T, XIE L Y. Complex state control experiment of vehicle standard atmosphere lamp based on Bluetooth communication[J]. Experimental Technology and Management, 2022, 39(2): 45-49. (in Chinese)

及通信协议的学习与研究打下良好的基础。本文中以汽车电子领域的具体应用作为实验对象,便于学生理解与学习,并且具有一定的实用价值与意义。

1 实验系统结构

本文系统主要包括英迪芯 RuGby 模块和蓝牙模块 nRF51822。实验首先完成蓝牙模块的配置,通过手机 App 完成对于蓝牙模块数据的传输,再通过异步收发传输器(universal asynchronous receiver/transmitter, UART)通信将获得的信号传输到英迪芯 RuGby 模块中,经开发板上的 PWM 恒流驱动模块,输出占空比不同的三基色驱动信号,产生多种不同的颜色以及亮度的效果,实现氛围灯复杂状态的控制。

1.1 蓝牙模块以及 RuGby 模块组成信息

蓝牙模块架构如图 1 所示,适用于 Bluetooth® 低功耗和 2.4 GHz 超低功耗无线应用,在实际应用过程中稳定性较好,通信过程中数据丢失较少,并且可以通过板载的 USB 接口进行 HEX 文件的烧录,开发十分方便。蓝牙模块的主控芯片 nRF51822 是基于配备了 256kBflash 和 32kB RAM 的 32 位 ARM Cortex-M0 CPU 而组成,可以外接多种 I/O 外设,其中包括 SPI、IIC、UART 以及 GPIO 等,支持 S110 蓝牙低功耗协议堆栈以及 2.4GHz 协议堆栈^[2-4]。

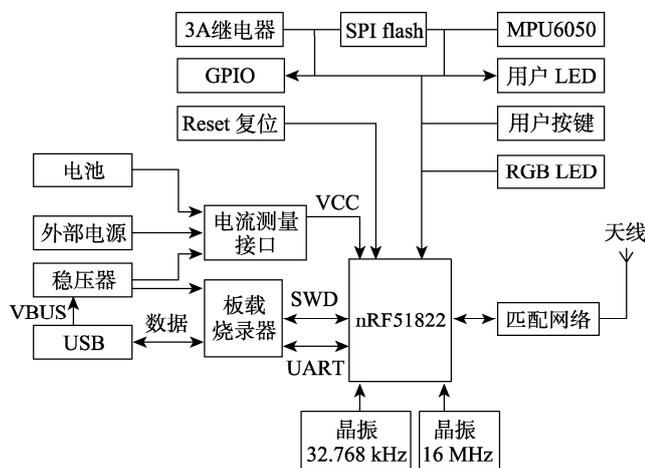


图 1 蓝牙模块架构图

英迪芯 RuGby 可以同时驱动 8 个 RGB-LED,大大降低了在实际应用过程中芯片的需求,并且内置晶振稳定性和准确性较高,同时使用多个芯片级联出现数据解析延迟的概率较低。英迪芯 RuGby 是基于 ARM Cortex-M 内核,具有 64KB flash 和 16KB SRAM 大容量存储,支持 24 路 16 位独立分频器的 PWM 和定时器,拥有 2 路 LIN 的控制器和收发器,分别支持主从模式,支持自动寻址功能,支持 UART 接口通信,符合汽车电子相关标准要求。

1.2 UART 通信协议及实验设计

UART 即通用收发传输器,仅需要 RX 和 TX 2 条信号线即可,结构简单,较易实现,是最常用的设备之间的通信协议之一。

在 UART 中,数据是以数据包的形式传输的。连接蓝牙模块与英迪芯模块的机制包括串行数据包的创建与物理硬件线路的控制。数据包主要包括起始位、数据帧、奇偶校验位和停止位^[5]。

在嵌入式系统中,对于 UART 通信的实现首次需要对于 UART 接口进行初始化,其中包括 UART 通信的波特率,数据的位宽,停止位位宽等;其次配置接收到数据以后的中断服务函数,对数据进行处理,在本实验中主要通过数据配置 PWM 占空比,进而对氛围灯进行控制。在 UART 接口的调试过程中,通常会添加一个回复函数,以便于验证接口通信是否正常进行。

如图 2 所示,在蓝牙模块中 P09 为 TXD, P11 为 RXD,可以与英迪芯的 RXD 和 TXD 接口相连接,在 UART 通信过程中主要使用这 4 个接口进行连接通信和传输数据。

蓝牙模块通过 UART 接口向英迪芯模块发送数据,一个完整的数据包包括起始位‘41’,氛围灯模式选择,其中‘0’代表单色设置,‘2’代表模式切换(如流水灯、呼吸灯等),灯头亮度,RGB 的占空比数值,灯号以及停止位的‘\n\r’。本实验中,英迪芯模块通过 UART 接口接收蓝牙模块发送过来的数据包,并存放在这个数组中暂存,当每次收满蓝牙发送过来配置数据时,英迪芯会根据数据包的定义解析数组中的数据进行氛围灯的驱动。

1.3 App 与蓝牙模块通信

蓝牙模块与手机 App 之间的通信,通常通过底层协议栈的部署实现。nRF51822 使用的是 BLE 低功耗蓝牙协议, BLE 协议可以分为蓝牙应用和蓝牙核心 2 大部分,而蓝牙核心又可以细分为 BLE 控制器(BLE controller)和 BLE 主机(BLE host)2 部分。其中控制器部分包括物理层(physical layer)、链路层(link layer)以及主机控制接口层(HCI);主机部分则包括逻辑链路控制以及自适应协议层(L2CAP)、安全管理层(SM)、属性协议层(ATT),通用访问配置文件层(GAP)和通用属性配置文件层(GATT)^[6-8]。BLE 协议框架如图 3 所示。

BLE 协议栈将应用数据进行层层打包生成一个满足 BLE 协议的数据包,把应用数据包裹在帧头和帧尾之间。类似其他通信协议一样,通过“线”将 2 个设备连接在一起,完成应用数据包的交换^[9]。蓝牙与手机 App 的通信,实际上就是让手机端和蓝牙模块拥有共同的通信媒介,使得两端使用相同的物理信道,完成时钟的同步。

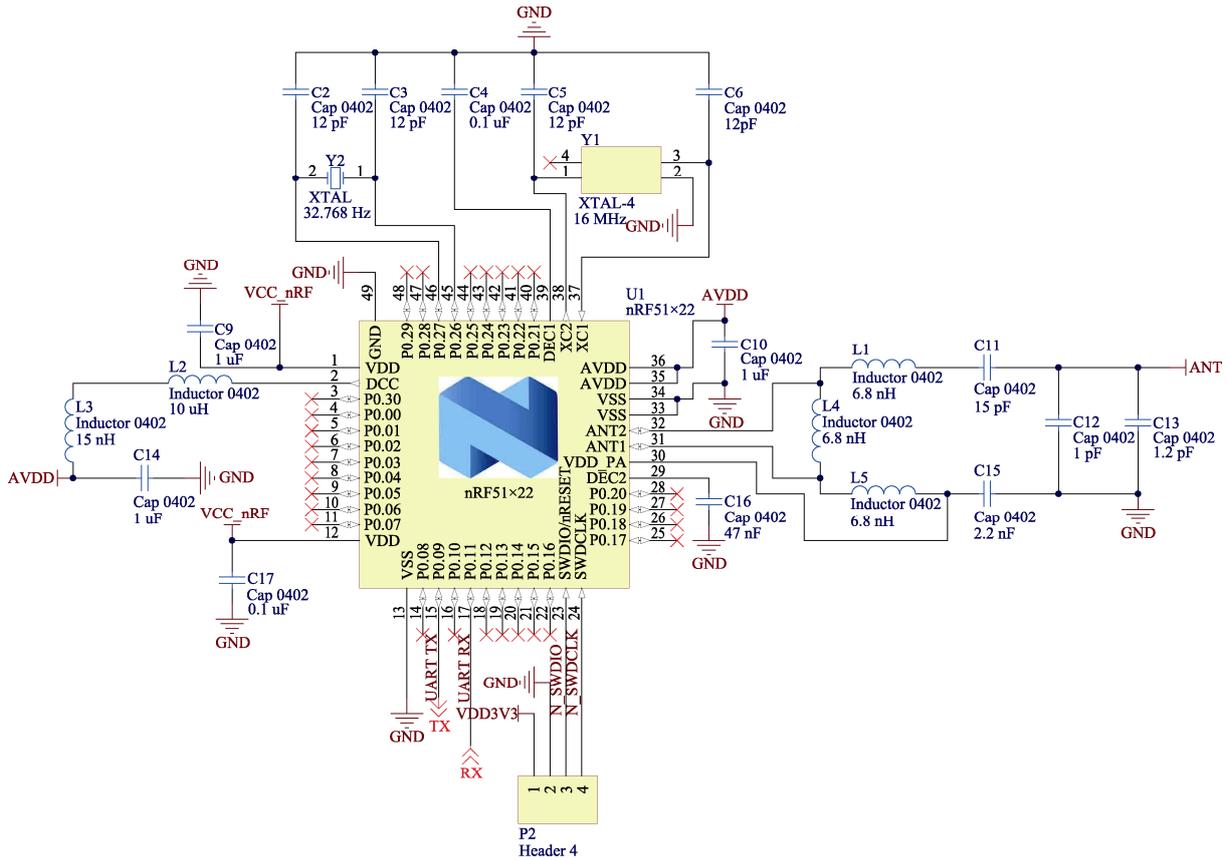


图 2 蓝牙模块电路图

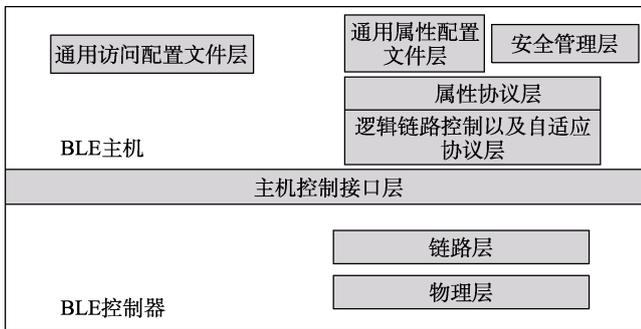


图 3 BLE 协议框架图

1.4 氛围灯驱动实验

英迪芯模块可以 PWM 恒流驱动 24 路共 8 个 RGB-LED 灯头, 核心电路如图 4 所示, 当英迪芯模块接收到蓝牙模块发送过来的数据帧进入到中断服务函数中, 连接到 RGB-LED 灯头的 VLED0、VLED1、VLED23 个引脚将会输出三基色通道驱动电流完成点灯。在 UART 通信的数据解析中, 会解析出 RGB 3 种颜色的占空比, 亮度与灯头序号。在点灯时, 英迪

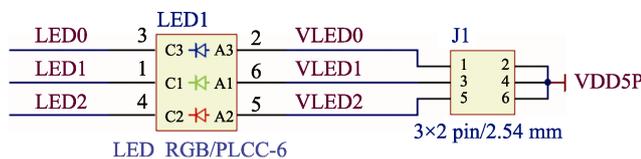


图 4 RGB-LED 核心控制电路

芯模块中的恒流驱动模块会通过调节脉冲信号的占空比的方式进行调光, 产生不同的 RGB 颜色和亮度, 并且由于 LED 的电流一直处在满幅电流和零之间, 所以不会出现色谱偏移的现象^[10-11]。

2 实验软件设计

软件设计包括蓝牙模块和英迪芯模块的软件设计, 目的是实现蓝牙模块与手机 App 的数据传输, 英迪芯模块与蓝牙模块之间的数据包的收发和解析以及实现英迪芯模块通过解析的数据实现 PWM 对于氛围灯复杂状态的控制。

软件设计流程如图 5 所示。首先对于蓝牙模块的软件定时器、串口、按键、LED 和协议栈初始化, 完成基本的串口通信和与手机端的数据交互, 并且可以通过按键对蓝牙模块进行复位, LED 闪烁代表蓝牙模块待连接, LED 保持常亮表示蓝牙模块已连接, 蓝牙模块保持扫描状态, 与手机连接后停止扫描。对于英迪芯模块, 启动定时器, 对 UART 接口进行初始化, 配置英迪芯模块的中断服务函数。

手机 App 发送的数据与预设指令格式保持一致, 当手机发送数据到蓝牙模块, 蓝牙模块会通过 UART 接口将数据包转发到英迪芯端, 英迪芯会将数据包保存在数组中。当检测到当尾帧或者数组收满时会跳转到中断服务函数, 对数据进行解析, 如果与设定的格

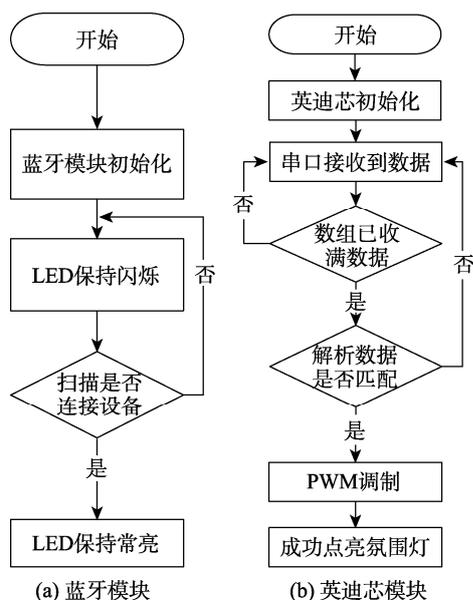


图5 设计流程图

式保持一致会将解析的数据传输到 RGB 点亮函数中, 通过 PWM 驱动进行调光调色处理, 反之将会舍弃数据包, 等待新的数据循环上述操作。在英迪芯的氛围灯驱动函数中, 预设了多种模式切换效果, 可以根据需求进行自行定义和设计。

3 实验效果

在实验前可以先调试数据传输是否正常, 可以先

使用手机 App 向蓝牙模块发送数据, 将蓝牙模块接入到 PC 端, 在 PC 端使用串口助手设置波特率为 115 200、1 位停止位、8 位数据位、无奇偶校验位等参数后, 可以将蓝牙模块接收到 App 端传输过来的数据在 PC 端显示出来, 当显示的数据格式与定义一致, 则表明蓝牙的数据传输正确, 然后使用串口助手对英迪芯模块进行调试, 发送各种不同颜色的指令, 观测英迪芯驱动的氛围灯变化情况, 如果与指令定义相同, 则表明英迪芯数据传输和 PWM 驱动正常。

最后将蓝牙模块与英迪芯模块相连, 手机与蓝牙模块相连, 蓝牙模块上指示灯保持常亮, 通过手机 App 发送数据, 英迪芯会根据数据控制氛围灯实现不同的效果, 进行全红灯测试, 输入数据 '41 30 64 FF 03 01 0D 0A 0A', 数值均为十六进制其中 '41' 为起始位, '64' 代表亮度为 100, 'FF 03 01' 分别代表 RGB 三基色数值, 即点亮红灯, 并且亮度最高。通过示波器对 RGB 3 路的 PWM 驱动信号进行测量, 如图 6 所示, 在同一周期内, 绿灯和蓝灯 PWM 信号占空比较低, 红灯 PWM 信号占空比较高。PWM 调光主要通过保持电流大小不变, 周期性打开和关闭 LED, 来改变 LED 正向导通时间, PWM 方波的占空比大小影响 LED 的平均亮度, 占空比越高, 人眼感觉越亮, 控制 RGB 单色的亮度, RGB 三路通过不同亮度混合实现对亮灯效果的控制^[12]。实际测试结果如图 7 所示, 成功点亮红灯。

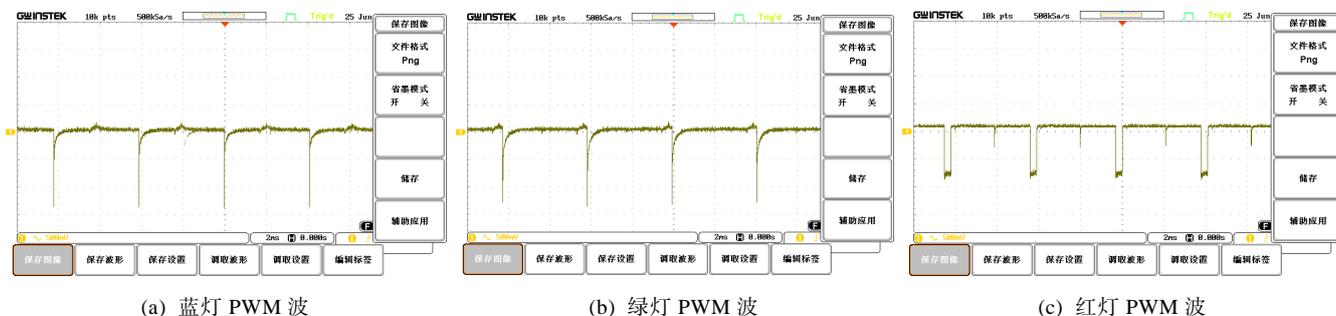


图6 RGB三色PWM信号波形

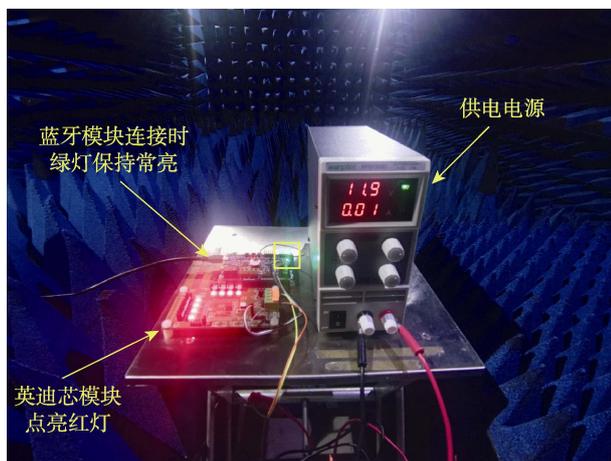


图7 点亮实际效果

由于需要满足车规级的需求, 除了实现基本复杂状态的控制外, 还需要进行相关的车规级的测试, 通过相关的摸底车规实验, 验证该控制功能模块的合规性。本次模块规范性实验主要进行传导发射相关的测试, 通过使用 LISN 人工电源网络和频谱分析仪进行模块传导辐射量的测试, 其中 LISN 人工电源网络主要将电网与受试设备进行隔离。供给待测件的电源必须是纯净的。否则, 电网将会向待测件注入干扰, 待测件也会向电网馈入干扰, 这就会在频谱仪无法区分干扰的来源, 所以需要通过人工电源网络将二者隔离, 这样测量结果才是有效的。参考相关的车规标准, 验证模块可靠性, 参照图 8 传导发射测试布置图, 将英

迪芯蓝牙模块放置在待测件的位置, 在频谱仪中参照汽车标准中的传导发射干扰量进行设置参考线, 如图 9 所示, 为实测传到发射的辐射量情况, 除了最低的限制标准参考线外, 其他的传导发射的辐射量都在标准范围内, 由于最低限制标准参考线是摸底测试, 为专业测试留有余量, 因此本次测试模块基本满足所有车厂所规定干扰的范围。

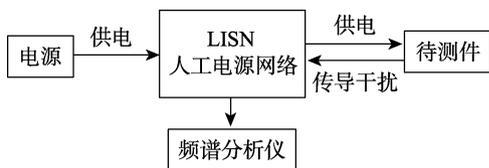


图 8 传导发射测试布置图

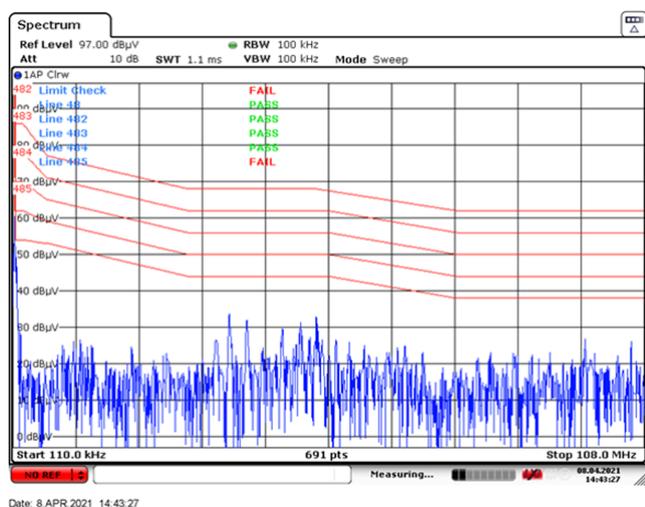


图 9 传导发射实测辐射量

4 结语

本实验实现了基于蓝牙模块和英迪芯模块面向车用氛围灯的控制系統, 使用蓝牙通信和 UART 通信协议, 构建了由手机 App 端到蓝牙模块再到英迪芯模块的完整数据通路。实验的硬件基础和开发对象都是面向汽车电子领域, 对学生们了解嵌入式开发与实际市

场需求有很重要的意义。实验中车规级测试的介绍, 让学生对汽车电子的规范测试有进一步的了解。实验中涉及的蓝牙模块与嵌入式的开发, 适用于大多数的蓝牙与嵌入式协同应用的场景, 掌握后能够方便学生进一步在该硬件平台的基础上进行应用的拓展和课题的研究。

参考文献 (References)

- [1] LIU S M, CHOU Y C. Color calibration for a surrounding true-color LED display system by PWM controls[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2014, 61(11): 6244–6252.
- [2] 刘百芬, 李图之, 陈鹏展, 等. 基于 nRF51822 的汽车无线姿态测量系统设计[J]. 科学技术与工程, 2014(17): 87–91.
- [3] 赵文苓. 基于 NRF51822 的可穿戴心率监测及防丢系统设计[D]. 成都: 成都理工大学, 2017.
- [4] 王超, 姚瑞玲. nRF51822 与传感器融合的定位算法[J]. 计算机工程与设计, 2018, 39(7): 1946–1953.
- [5] 唐明. 基于 FPGA 与 Pc 机串行通信 UART 模块设计[D]. 武汉: 华中师范大学, 2013.
- [6] SEO J, HAN K. A survey of enhanced device discovery schemes in Bluetooth low energy networks[J]. IETE Technical Review, 2021, 38(3): 365–374.
- [7] 李想. 蓝牙协议栈的设计与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2007.
- [8] 付直兵, 陈庆奎, 梁晶, 等. 基于蓝牙 4.0 网络的控制[J]. 计算机工程与设计, 2018, 39(1): 1–4.
- [9] 李伟航. 基于 BLE 的 IPv6 协议栈设计与实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.
- [10] GACIO D, ALONSO J M, GARCIA J, et al. PWM series dimming for slow-dynamics HPF LED drivers: The high-frequency approach[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2011, 59(4): 1717–1727.
- [11] 李梓慎. 三通道 LED 恒流驱动芯片的设计[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [12] FATMAWATI R, RIYANTO M, WAHJU R I. Fish behavior characterization with an RGB-LED intensity based on pulse width modulation (PWM) system in fixed lift net[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 584(1): 012032.