



FPGA 多协议转换的智能家居终端研制

刘良臣,王真星

(上海第二工业大学 智能制造与控制工程学院,上海 201209)

摘要: 目前,智能家居终端存在云平台交互/采集/显示等功能欠缺、互操作性能不佳、支持接入的通信协议有限等问题。为此研制了一种基于 FPGA 多协议转换的智能家居终端系统。它集控制、采集、显示于一体,能对大部分不同通信协议的设备进行操作,并能接入阿里云物联网平台,可用手机 APP 控制,研制的自动协议转换机制可以使不同厂商的智能家居设备实现互联。

关键词: 智能家居;FPGA;多协议转换;物联网平台

中图分类号: TP273

文献标识码: A

Development of Intelligent Home Terminal Based on FPGA Multi-protocol Conversion

Liu Liangchen, Wang Zhenxing

(School of Intelligent Manufacturing and Control Engineering, Shanghai Polytechnic University, Shanghai 201209, China)

Abstract: Current smart home terminals lack functions such as cloud platform interactive collection and display, poor interoperation performance, and limited communication protocols supporting access. In the paper, a smart home terminal system based on FPGA multi-protocol conversion is developed. It integrates control, collection and display, can operate most of the devices with different communication protocols, and can access the cloud Internet of Things platform. Then the monitoring can be controlled using the mobile APP. The developed automatic protocol conversion mechanism can connect smart home devices from different manufacturers.

Keywords: smart home; FPGA; multi-protocol conversion; IoT platform

0 引言

当下的智能家居产品种类繁多,通信协议也各不相同^[1],常见的物联网通信协议有 WiFi、蓝牙、红外、ZigBee 和 NB-IoT 等^[2-6]。而各大物联网平台对智能家居的通信协议是有要求的,例如阿里云平台只接入通信协议为 WiFi、蜂窝(3G/4G)和以太网的智能家居产品。为了让不同通信协议的智能家居产品接入物联网平台,需要进行协议之间的转换^[7-9]。

目前,市场上存在多种不同类型的协议转换系统,包括基于嵌入式系统、专用芯片和基于 FPGA 的多协议转换系统。这些系统各有优缺点和适用场景^[10]。

嵌入式系统可以根据实际需求设计相应的转换能力和方式,但由于其灵活性较差,一旦成品化之后,功能性调整就不再方便。专用协议转换芯片具有使用方便、转换速度快、可靠性高等优点,但功能单一、缺乏灵活性。相比之下,基于 FPGA 的多协议转换系统具有高可配置性、高频率、低成本、短开发周期等优势,逐渐被越来越多的人研究和应用。

基于 FPGA 的多协议转换系统可以将不同的协议融合在一起,不再受嵌入式系统频率及内存的限制,同时配以灵活的算法可以完成对不同协议之间的数据解析、速率匹配、并行的数据转换以及转发等任务。此外,基于 FPGA 的多协议转换系统具有高度可配置性,可以根据实际需求进行灵活配置和定制化。这使得基于 FPGA 的多协议转换系统在适应各种应用场景时表现出了极大的优越性。

已有一些学者正在研究协议转换的方法。李晓齐等^[11]的研究能够实现 CAN 协议与 USB 协议之间的互相通信,有利于信息管理网络中的数据传递,但并没有涉及其他协议之间的转换。苏维嘉等^[12]提出的协议转换系统能够实现 USB 和 LIN 两种总线之间的数据相互转换,从而整合两种协议之间的优点,这对智能家居协议转换具有一定的借鉴意义。近年来随着 FPGA 的快速发展,基于其可重编程、可定制,易于维护,方便移植、升级或扩展等优点,使得基于 FPGA 的多协议转换逐渐被运用。杨会伟等^[13]提出基于 FPGA 的协议转换系统可灵活实现 RS232、RS485、SPI、I²C 四种接口中任意两个接口间的单向或双向转换控制,但由于智能家居的协议错综复杂,该

方案不能满足智能家居协议转换的需求。满忠昊等^[14]提出的基于 FPGA 的多协议网关设计可以将 CAN、RS232、RS485、ZigBee 等协议数据与以太网数据相互转换,从而实现多个设备之间共享信息,但其没有涉及蓝牙协议与 WiFi 协议之间的相互转换。本文研制了基于 FPGA 多协议转换的智能家居终端系统,其能够进行协议间的转换,实现了将红外协议和蓝牙协议通过 FPGA 系统与 WiFi 协议互相转换,从而使红外协议和蓝牙协议的智能家居产品能够接入阿里云物联网平台,并配合手机 APP 与阿里云平台通信进行设备的远程控制。

1 体系架构设计

1.1 总体方案设计

协议转换部分采用 FPGA 系统来实现。将 WiFi 协议转换为空调和灯的红外协议,以便接收阿里云平台对空调和灯下发的控制指令。气体传感器涉及到将蓝牙协议转换为 WiFi 协议,将采集到的空气信息上传到阿里云平台。空调状态信息、空气质量信息和灯的状态信息由 WiFi 模块通过 MQTT 协议发送给阿里云平台。再由阿里云平台生成有 3 个设备的云智能 APP,此 APP 可以下发指令给阿里云平台,平台再下发给 3 个终端设备。WiFi 模块连接 WiFi 入网,然后通过 UDP 协议登录 NTP 服务器来获取网络时间,最后将获取到的信息通过 OLED 屏显示出来,图 1 所示为系统方案设计框图。

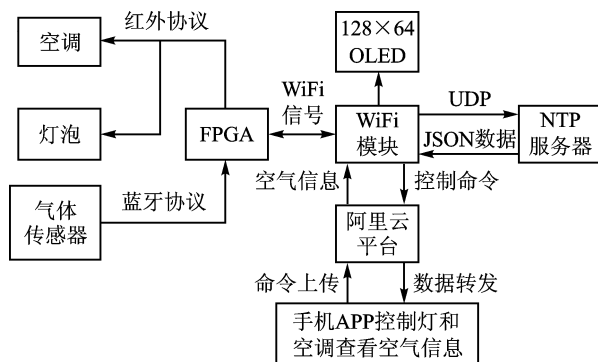


图 1 系统方案设计框图

1.2 协议转换设计

协议转换系统在接收外接模块处理过的数字信号后,将红外、蓝牙各自的数据流转换成 FPGA 可接收的串口信号,在 FPGA 芯片内转换为 WiFi 信号,按优先级进入到各自的 FIFO 缓存,数据转换模块根据优先级处理数据,然后进入各自的缓存,最后按照所有数据的优先级进行输出排序。数据链路如图 2 所示。气体传感器将采集的空气信息通过串口存入 FPGA 的 FIFO 中,经过 FPGA 的数据转换后输出 WiFi 信号,再通过 WiFi 模块将信息上

传到阿里云物联网平台。阿里云对空调和灯下发指令,WiFi 模块接到阿里云下发的指令后将其存入 FPGA 的 FIFO 缓存中,经过 FPGA 的协议转换将其转换为红外信号并最终控制空调和灯。

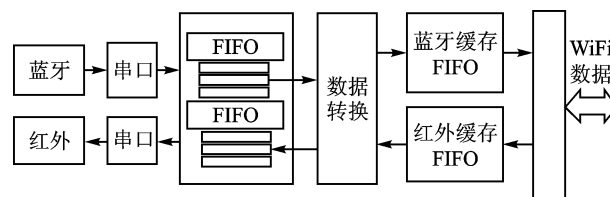


图 2 多协议转换数据链路

1.3 电路设计

电路部分包括 FPGA 电路和 WiFi 电路。FPGA 电路部分主要包括芯片电路、供电电路、外部时钟电路、复位电路、下载与调试电路以及存储器电路。芯片选用 Altera (现被 Intel 收购)公司的 Cyclone IV EP4CE6E22。这款芯片能够很好地满足本设计的要求。FPGA 芯片需要 3 路电源供电,分别为 1.2 V、2.5 V 和 3.3 V。供电电源为 5 V 电压,需要进行降压,选用正向低压降稳压器 AMS1117 系列芯片进行电压变换,为了使供电稳定,需要在芯片的各个电源引脚上接滤波电容,滤除一些杂波。外部时钟电路选用主频为 50 MHz 的晶振作为芯片的时钟源,JTAG 接口是 FPGA 的程序下载和调试接口。

WiFi 电路设计中选用的模块是 ESP-12F。该模块在较小尺寸封装中集成了 Tensilica L106 超低功耗 32 位微型 MCU,带有 16 位精简模式,主频支持 80 MHz 和 160 MHz,支持 RTOS,集成 WiFi MAC/BB/RF/PA/LNA,板载天线。该模块支持标准的 IEEE802.11b/g/n 协议,完整的 TCP/IP 协议栈。用户可以使用该模块为现有的设备添加联网功能,也可以构建独立的网络控制器^[15]。该模组采用容量为 4 MB、封装为 SOP-210 mil 的 SPI Flash。模组使用的是 3 DBi 的 PCB 板载天线。ESP-12F 共接出 18 个接口。ESP-12F 核心电路如图 3 所示。

模组外围电路中,GPIO0 必须上拉到 VCC,GPIO15 必须下拉到 GND。EN 引脚需上拉到 VCC。Pin17~22 引脚悬空,因为模组里面接了 SPI Flash。

2 软件设计

软件设计分为 3 部分,分别为 FPGA 程序、WiFi 程序和阿里云智能 APP。

FPGA 协议转换状态机:

① 状态 1:等待 WiFi 数据。FPGA 处于等待 WiFi 数据的状态。触发条件:未接收到 WiFi 数据时。动作:保持等待状态,直到接收到 WiFi 数据。

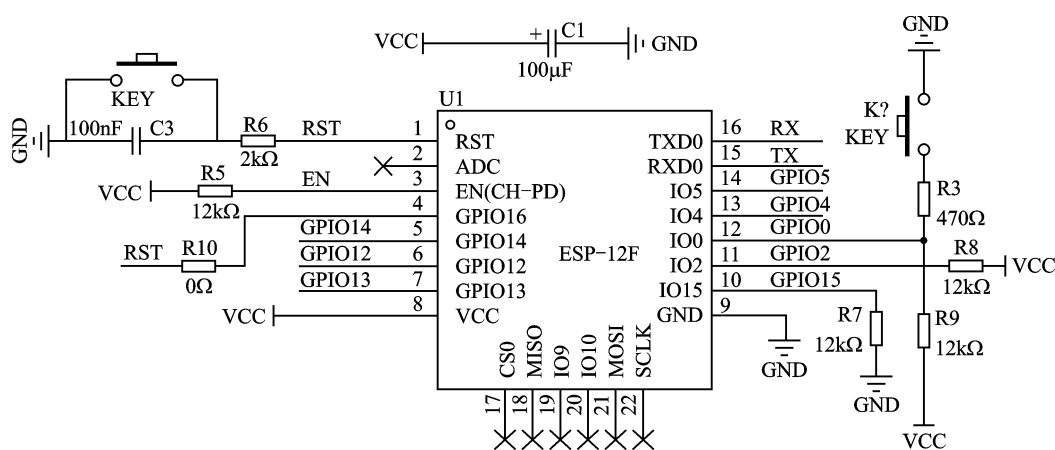


图3 ESP-12F 核心电路图

② 状态2:解析WiFi数据。FPGA接收到WiFi数据并开始解析。触发条件:接收到WiFi数据。动作:解析WiFi数据包,提取所需数据并转换为红外协议格式。

③ 状态3:发送红外信号。将转换后的红外信号发送到红外发射器。触发条件:WiFi数据包解析完毕。动作:将转换后的红外信号发送到红外发射器,触发红外信号发射。

④ 状态4:等待蓝牙数据。FPGA处于等待蓝牙数据的状态。触发条件:未接收到蓝牙数据时。动作:保持等待状态,直到接收到蓝牙数据。

⑤ 状态5:解析蓝牙数据。FPGA接收到蓝牙数据并开始解析。触发条件:接收到蓝牙数据。动作:解析蓝牙数据包,提取所需数据并转换为WiFi协议格式。

⑥ 状态6:发送WiFi信号。将转换后的WiFi信号发送到WiFi模块。触发条件:蓝牙数据包解析完毕。动作:将转换后的WiFi信号发送到WiFi模块,触发WiFi信号发送。

⑦ 状态7:返回等待WiFi数据状态。状态机回到等待WiFi数据状态。触发条件:WiFi信号发送完毕。动作:将状态机回到等待WiFi数据状态,准备接收下一个WiFi数据包。

在状态1等待WiFi数据的过程中,可能会发生WiFi信号丢失或者数据包错误的情况,因此需要在此状态下添加一些错误处理的机制,设置一个超时时间,若在超时时间内没有接收到WiFi数据,则返回状态1重新等待WiFi数据。另外,还需要添加一些数据包校验功能,确保接收到的WiFi数据包是正确的。

在解析WiFi数据的过程中,因为需要从WiFi数据包中提取所需的数据并将其转换为红外协议格式,所以需要在FPGA中实现高效的数据提取和转换算法,以提高解析的速度和精度。

在状态4等待蓝牙数据的过程中,同样需要考虑数据包丢失或错误的情况,需要在此状态下添加相应的错误处理机制,为此设置超时时间和数据包校验功能。

FPGA协议转换的过程中需要考虑各种可能的错误情况,添加相应的错误处理机制,并且需要优化算法和实现,以提高解析和发送数据的速度和精度。

WiFi程序分为5大模块:获取时间信息程序、空调通过MQTT连上阿里云程序、灯通过MQTT连上阿里云程序、获取空气信息程序、OLED显示程序。WiFi程序流程框图如图4所示。

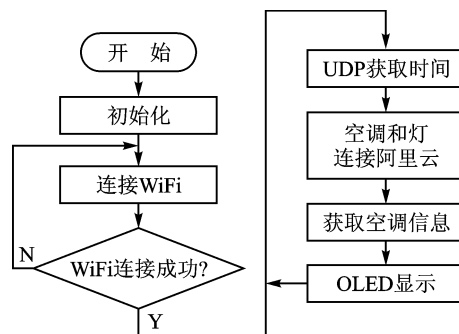


图4 WiFi程序流程框图

上电后各种外设初始化,连接WiFi,如果没连上就一直连接。连上WiFi后通过UDP协议连接NTP服务器获取网络时间信息,空调和灯通过MQTT协议连接阿里云物联网平台,等待阿里云下发控制指令。指令经过FPGA协议转换系统由WiFi信号转换为红外协议信号,从而对空调和灯进行控制。气体传感器获取的环境空气质量数据经过FPGA系统转换为WiFi协议信号并上传到阿里云平台,最后将数据发送给OLED屏显示。

设计的APP界面如图5所示,共有4个界面。第1个界面是空调控制界面,有开关、模式的选择、温度的选择、风速的选择。第2个界面是灯的控制界面。第3个界面是空气质量页面,实时显示甲醛和二氧化碳含量。第4个界面显示的是二氧化碳含量的峰值。

3 实验测试

实验测试设备如图6所示,有红外发射管、WiFi模块、蓝牙气体传感器和FPGA开发板。

在系统和设备集成测试阶段,FPGA系统通过串口连接到WiFi模块,红外发射管连接在FPGA的I/O引脚上。测试结果表明,FPGA系统能够正确读取WiFi模块



图5 APP界面

发送的数据,数据传输稳定、可靠。

在测试红外协议和 WiFi 协议转换时,手机 APP 发送测试指令,设置空调温度为 22℃,模式为制冷模式,定时 2 小时,风速为低速。信号传递路径为:手机—阿里云—WiFi 模块—FPGA—红外发射模块—空调。将接收

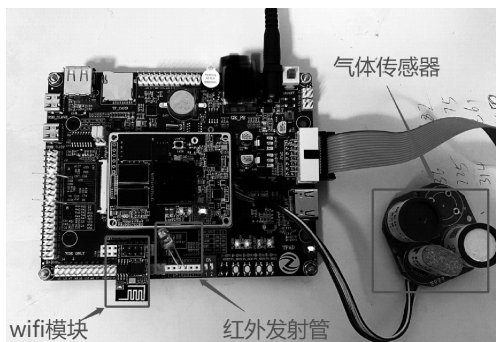


图6 系统与设备联调测试图

到的测试指令通过串口传给 FPGA, FPGA 将 WiFi 指令转换成红外信号,最终控制红外空调。阿里云物联网平台输出的信息如图 7 所示。

```
Message arrived [/sys/airCZMMSzjE/8_14/thing/service/property/set] ("method":"thing.service.property.set","id":"719480179","params":{"powerstate":1},"version":"1.0.0")
[0000]000
Message arrived [/sys/airCZMMSzjE/8_14/thing/service/property/set] ("method":"thing.service.property.set","id":"749395949","params":{"timer":2},"version":"1.0.0")
Message arrived [/sys/airCZMMSzjE/8_14/thing/service/property/set] ("method":"thing.service.property.set","id":"752644039","params":{"timer":2},"version":"1.0.0")
Message arrived [/sys/airCZMMSzjE/8_14/thing/service/property/set] ("method":"thing.service.property.set","id":"772937544","params":{"model":1},"version":"1.0.0")
Message arrived [/sys/airCZMMSzjE/8_14/thing/service/property/set] ("method":"thing.service.property.set","id":"776303999","params":{"model":1},"version":"1.0.0")
Message arrived [/sys/airCZMMSzjE/8_14/thing/service/property/set] ("method":"thing.service.property.set","id":"795522409","params":{"SetTemperature":22},"version":"1.0.0")
state is connected
Message arrived [/sys/airCZMMSzjE/8_14/thing/service/property/set] ("method":"thing.service.property.set","id":"796666915","params":{"SetTemperature":22},"version":"1.0.0")
Message arrived [/sys/airCZMMSzjE/8_14/thing/service/property/set] ("method":"thing.service.property.set","id":"818891885","params":{"SetTemperature":22},"version":"1.0.0")
Message arrived [/sys/airCZMMSzjE/8_14/thing/service/property/set] ("method":"thing.service.property.set","id":"851145244","params":{"SleepModel":1},"version":"1.0.0")
[0000]0000
Message arrived [/sys/airCZMMSzjE/8_14/thing/service/property/set] ("method":"thing.service.property.set","id":"854843365","params":{"SleepModel":0},"version":"1.0.0")
[0000]0000
Message arrived [/sys/airCZMMSzjE/8_14/thing/service/property/set] ("method":"thing.service.property.set","id":"868778021","params":{"windSpeed":1},"version":"1.0.0")
Message arrived [/sys/airCZMMSzjE/8_14/thing/service/property/set] ("method":"thing.service.property.set","id":"871499458","params":{"windSpeed":1},"version":"1.0.0")
state is connected
Message arrived [/sys/airCZMMSzjE/8_14/thing/service/property/set] ("method":"thing.service.property.set","id":"881047015","params":{"send":0},"version":"1.0.0")
Message arrived [/sys/airCZMMSzjE/8_14/thing/service/property/set] ("method":"thing.service.property.set","id":"886506469","params":{"send":1},"version":"1.0.0")
[0000]0000
state is connected
```

图7 物联网平台输出的信息

由输出的信息可知, FPGA 系统将 WiFi 协议转换为红外协议, 可以通过阿里云物联网平台实时远程控制红外空调。

还进行了蓝牙协议和 WiFi 协议之间的转换测试。连接蓝牙气体传感器模块和 WiFi 模块进行集成测试, 手机 APP 显示气体传感器测量的数据。测试结果表明, FPGA 系统正确地将蓝牙协议转换为 WiFi 协议, 气体传感器测得的数据与专业气体传感器获得的数据相似。

通过以上测试, 验证了系统协议转换功能和设备远程控制功能的可行性和稳定性, 论证了本文提出的基于 FPGA 的多协议转换智能家居终端系统在实际应用中的可行性。

4 结 语

本文研制了基于 FPGA 多协议转换的智能家居终端系统, 能够进行协议之间的转换, 将红外协议和蓝牙协议与 WiFi 协议互相转换。在研制过程中测试了红外空调、蓝牙气体传感器, 将其对应的红外协议和蓝牙协议转换为 WiFi 协议, 并接入了阿里云物联网平台。与设备联调测试发现, 空调对阿里云服务器下发的指令响应速度较快。手机 APP 上显示实时变化的二氧化碳和甲醛含量, 说明协议之间的转换较为成功。下一步的研究工作会考虑将更多不同协

议的家居设备接入云端并用手机 APP 进行控制。

参考文献

- [2] 龙顺宇, 周仁佳, 杨伟, 等. 基于 Wi-Fi SoC 及阿里 IOT 平台的智能家居控制节点设计[J]. 电子测试, 2021(1): 60-63.
- [3] 宋丽华, 张泽, 李也白. 基于 RPL 的蓝牙组网技术在智能家居的应用[J]. 计算机工程与设计, 2017, 38(10): 2850-2857.
- [4] 王海珍, 廉佐政, 谷文成, 等. 基于 ZigBee 的智能家居系统安全通信研究[J]. 电子测量技术, 2021, 44(18): 78-84.
- [5] GILL K, YANG S-H, YAO F, et al. A zigbee-based home automation system[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2009, 55(2): 422-430.
- [6] Piyare R, Tazil M. Bluetooth based home automation system using cell phone[C]//IEEE International Symposium on Consumer Electronics. IEEE, 2011: 192-195.
- [7] 申赞伟, 赵国华, 张士文, 等. 基于 STM32 的智能家居物联网系统实验设计[J]. 实验室研究与探索, 2022, 41(2): 60-63, 93.
- [8] 申志强, 赵天翔. 基于阿里云的实时天气状况监测装置设计[J]. 电脑知识与技术(学术版), 2021, 17(36): 3.
- [9] ELSHAFFEE A, HAMED K A. Design and implementation of a WIFI based home automation system[J]. International Journal of Computer and Information Engineering, 2012, 6(8): 1074-1080.

3.3 实验步骤

- ① 将嵌入式物联网系统移植到单板上；
- ② 编写简单的 LED 闪烁程序；
- ③ 测量正常运行情况下的功耗；
- ④ 创建空闲周期任务,将嵌入式物联网系统切换到低功耗模式；
- ⑤ 低能耗模式 LED 闪烁记录和观察得到数据；
- ⑥ 利用以上流程对没有操作系统和 $\mu\text{C}/\text{OS II}$ 系统进行测试,记录数据,电压变化图如图 5 所示。

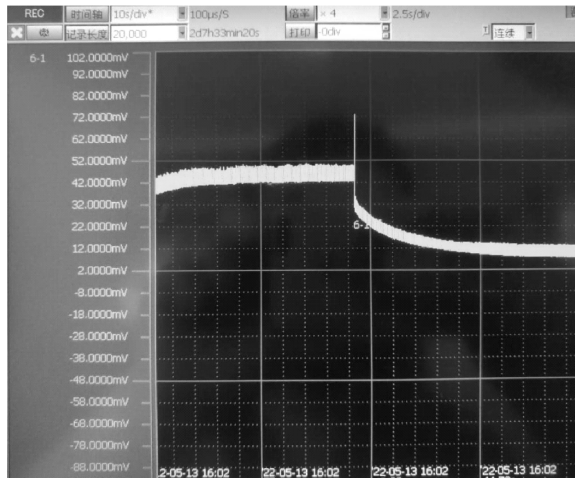


图 5 电压变化图

图 5 为存储记录仪中显示嵌入式物联网系统的电压变化情况,实验结果如表 2 所列。

由表 2 可知,嵌入式物联网系统在无操作系统运行和低功耗模式下,由于支持功能而产生一定的能耗,裸板的功耗表现最差;低功耗和正常运行的情况下,嵌入式物联网系统的功耗表现较好,几乎是 $\mu\text{C}/\text{OS II}$ 操作系统的一半。

4 结 语

本文针对嵌入式物联网应用的中断控制、存储管理、通信、低功耗等方面进行了深入探讨,并对其集成的云端平台进行了测试,并测试其功耗。研究发现,嵌入式物联

表 2 功耗测试实验数据表

操作系统	模式	平均电压/mV	电阻/ Ω	平均电流/mA
—	正常	25	10	2.5
	低功耗	6	10	0.6
$\mu\text{C}/\text{OS II}$	正常	70	10	7.0
	低功耗	20	10	2.0
嵌入式物联网系统	正常	40	10	4.0
	低功耗	12	10	1.2

网技术能够有效拓展网络的应用领域,降低开发成本。而云计算等相关的平台也可为用户便捷、快速地提供物联网信息,但同时也消耗了大量的电力。但是,在这种情况下,嵌入式物联网应用程序因为缺少中文支撑,仍然保持着谨慎的态度。

参考文献

- [1] 陈祥国,尚凡,宋君强. 嵌入式系统安全防护方案比较与应用案例分析[J]. 计算机工程与科学,2022,44(3):10.
- [2] 张猛,赵振峰,杨晓鑫. 嵌入式系统在物联网领域中的应用[J]. 仪表技术,2021(6):4.
- [3] 林树森. 基于 STM32 单片机的智能家居物联网平台设计[J]. 电子测试,2020(7):70-72.
- [4] 郭亚楠,肖茜. 基于物联网技术的计算机嵌入式系统分析[J]. 科技资讯,2021,19(34):4.
- [5] 崖海娇. 嵌入式系统与物联网融合发展趋势研究[J]. 经济技术协作信息,2021(10):1.
- [6] 赵慧娟. 物联网与嵌入式系统开发研究[J]. 电子技术与软件工程,2021(18):2.
- [7] 王雪. 嵌入式系统在智能物联网时代背景下的教学研究[J]. 数字技术与应用,2020,38(4):2.

林喜辉(副教授),主要从事计算机及应用研究。通信作者:林喜辉,89286620@qq.com。

(责任编辑:薛士然 收稿日期:2023-06-02)

- [10] 苗力心. 软件定义协议转换关键技术研究[D]. 郑州:战略支援部队信息工程大学,2020.
- [11] 李晓齐,毛君. 基于 FPGA 的 CAN_USB 协议转换的研究[J]. 工业控制计算机,2009,22(11):3.
- [12] 苏维嘉,宋宇宁. 基于 FPGA 的 LIN_USB 协议转换研究[J]. 世界科技研究与发展,2012,34(6):969-971,682.
- [13] 杨会伟,周先飞,马书香. 基于 FPGA 多接口协议间转换系统研究[J]. 佳木斯大学学报(自然科学版),2019,37(6):971-974.
- [14] 满忠昊,权国栋,徐钊. 基于 FPGA 多协议转换网关设计

[J]. 煤矿机械,2015,36(8):298-301.

- [15] WANG Z,CAO S. The Design and Implementation of Intelligent Bedpan for Bedridden Patients[C]//proceedings of the 2021 13th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC),2021.

刘良臣(硕士研究生),主要研究方向为嵌入式系统设计;王真星(副教授),主要研究方向为嵌入式系统、仪器仪表设计。通信作者:刘良臣,20211510180@stu.sspu.edu.cn。

(责任编辑:薛士然 收稿日期:2023-05-22)