

基于微信硬件平台的蓝牙读卡器研究

姜帆^{1,2}, 聂建波³, 李延^{1,2}, 秦理想^{1,2}, 丁贺革^{1,2}

(1. 北京智芯微电子科技有限公司 国家电网公司重点实验室 电力芯片设计分析实验室, 北京 100192;

2. 北京智芯微电子科技有限公司 北京市电力高可靠性集成电路设计工程技术研究中心, 北京 100192;

3. 国网浙江省电力公司物资分公司, 杭州 310007)

摘要: 随着移动技术的快速发展, 特别是 4G 技术问世以来, 带有智能操作系统的移动手机迅速普及, 这给大规模移动物联网的发展带来了机遇, 目前, 以移动智能手机为核心, 市场上出现了许许多多的移动外设, 如健康手环等, 极大地方便了人们的生活; 随着微信的广泛应用, 微信推出了微信硬件应用平台, 通过该平台, 蓝牙、WIFI 等无线外设可以方便地实现设备、人与服务的连接; 基于微信硬件技术平台的这一原理, 北京智芯微电子科技有限公司进行了微信蓝牙便携式读卡器的技术研究, 这一研究以嵌入式硬件技术、无线蓝牙通信技术、微信硬件平台为基础, 提出了微信蓝牙读卡器的技术方案, 利用该读卡器可以在手机微信上实现对智能 IC 卡的信息读取; 研究结果表明, 该技术方案可行、新颖、实用, 这一技术方案开辟了移动读卡器研究的新路径, 具有重要意义。

关键词: 微信硬件平台; MCU; 蓝牙; 读卡器; 智能卡

Research on Bluetooth Card Reader Based on WeChat Hardware Platform

Jiang Fan^{1,2}, Nie Jianbo³, Li Yan^{1,2}, Qin Lixiang^{1,2}, Ding Heping^{1,2}

(1. State Grid Key Laboratory of Power Industrial Chip Design and Analysis Technology, Beijing Smart-Chip Microelectronics Technology Co., Ltd., Beijing 100192, China;

2. Beijing Engineering Research Center of High-reliability IC with Power Industrial Grade, Beijing Smart-Chip Microelectronics Technology Co., Ltd., Beijing 100192, China;

3. Zhejiang Electric Power Material Branch Company, State Grid, Hangzhou 310007, China)

Abstract: With the rapid development of mobile technology, especially 4G technology since the advent of the mobile phone with the rapid popularization of intelligent operating system, which has brought opportunities to the development of large-scale, moving network at present, mobile intelligent mobile phone as the core, the market appeared many mobile peripherals, such as health bracelet, great convenience people's life. With the widespread use of WeChat, WeChat launched the WeChat hardware application platform, through this platform, Bluetooth, WIFI and other wireless peripherals can facilitate the realization of equipment, people and services connection. This is a hardware platform based on the principle of WeChat technology, Smart-Chip Microelectronics Technology Co., Ltd. Beijing research on WeChat Bluetooth portable card reader, this research is based on the embedded hardware technology, Bluetooth wireless communication technology, the hardware platform of WeChat, the WeChat Bluetooth technology program read the card reader, the card reader can realize the intelligent IC card read information in the mobile phone WeChat. The research results show that the technology is feasible, novel and practical, and this technology scheme opens up a new path for mobile card reader, and it is of great significance.

Keywords: WeChat hardware platform; MCU; Bluetooth; card reader; smart card

0 引言

IC 卡读卡器是读写 IC 卡的机具设备, 早前大多数读卡器通过 USB 通讯线连接到 PC 机才能够使用, 这种方式的弊端就是移动性和便携性较差。在移动技术快速发展的今天, 随着智能手机的迅速普及以及大规模物联网的快速发展, IC 卡读卡器也迎来了跨越式发展, 由以前的只支持 PC 机的 Windows 系统发展到可以支持手机的 Android 和 IOS 系统, 因此 IC 卡读卡器正向着小型化、便携化的方向发展, 当前大多数移动式读卡器的开发模式是在硬件读卡设备上集成一个蓝牙模块, 然后通过蓝牙与手机的蓝牙通讯, 这种方式需要在手机上开发一款 APP 应用软件。而本文所研究的读卡器是基于微信硬件平台技术开发, 用户可以通过微信在自己的手机上实现对接触式

IC 卡的读卡、写卡等操作, 与 APP 读卡器相比, 微信读卡器降低了开发成本, 节省了项目资源, 研究了利用微信操作读卡器的方法, 对于读卡器的发展与应用具有重要意义。

1 基于微信硬件平台的蓝牙读卡器

1.1 研究背景

在我们的日常生活中, 每家每户都有许许多多的各种卡, 电卡、水卡、燃气卡、银行卡等, 目前除银行卡外, 很多行业的 IC 卡, 在用户需要充值或查询时, 大多需要去柜台或者自助机, 排队现象是一个普遍的现象, 耗费了很多时间成本, 浪费了很多社会资源, 特别是遇到意外的突发的情况, 比如夜里着急用电的时候, 却突然断电, 而营业厅又比较远, 或者已经关门; 在比如你想知道家里还有多少电、多少水、多少气的时候, 想查询下卡内余额。如果营业厅就像影子一样, 随时在你身边多好。

自 2010 年以来, 随着苹果 IOS 系统、谷歌 Android 系统的逐步成熟与商业化, 智能手机如雨后春笋般迅速普及, 而随

收稿日期: 2017-08-07; 修回日期: 2017-09-07。

作者简介: 姜帆 (1979-), 男, 辽宁朝阳市, 大学, 高级工程师, 主要从事嵌入式系统与集成, 无线通信技术方向的研究。

着 3G 乃至 4G 技术的发展, 以及移动资费的不断下调, 智能手机用户不断增长, 据 CNNC 中国互联网发展统计调查显示, 截止 2016 年 12 月^[1]。我国网民规模达 7.31 亿, 互联网普及率 53.2%, 与此同时手机网民规模达 6.95 亿, 网民中使用手机上网的人群的占比由 2015 年的 90.1% 提升至 95.1%, 移动互联网的迅猛发展, 使得很多读卡器商家也看到了巨大商机^[2]。近 5 年来, 基于移动智能手机开发了很多种类读卡器, 如基于手机音频口的音频读卡器、基于手机 USB 接口的 OTG 读卡器、基于手机蓝牙的蓝牙读卡器等, 不过这些手机都需要开发单独的应用 APP 软件。

自 2011 年腾讯推出微信以来, 伴随着移动手机的发展, 微信以其实用、高效的特点迅速占领了市场, 用户数不断增长, 截止 2016 年 12 月, 微信活跃用户数已经近乎超越 QQ, 通过微信公众平台, 微信实现了人与人的连接, 目前不断涌现的企业公众号或订阅号, 实现了人与服务的连接, 在此基础上, 2014 年底, 基于微信公众平台, 微信推出了微信硬件平台, 通过平台规定的连接协议, 各种智能设备如蓝牙设备、WIFI 设备和其他移动网络设备都能方便的接入微信, 完成设备一人一服务的连接^[3]。

1.2 系统架构与工作流程

微信蓝牙读卡器基于微信硬件平台技术, 系统架构主要由蓝牙读卡器、手机微信、微信后台、厂商云等 4 个部分组成, 微信硬件平台的接入需要 2 个阶段, 开发阶段和正式上线与发售阶段, 本文论述的是开发阶段, 在开发阶段需要分 3 步, 即申请测试号、开通设备功能和设备开发。申请测试号和设备功能开通按照微信硬件平台的规定在网上提交材料即可完成, 这里不再赘述。设备开发需要完成读卡器的软硬件开发以及手机微信测试号功能开发, 微信蓝牙读卡器的使用流程如图 1 所示。

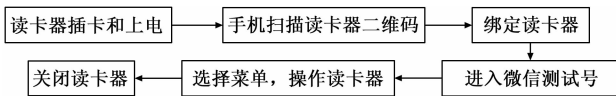


图 1 基于微信硬件平台的蓝牙读卡器使用流程图

2 读卡器设计

根据微信硬件平台的系统架构, 本读卡器的研发分为 3 个部分, 一是硬件电路设计, 二是硬件底层驱动设计, 三是手机微信测试号开发。以上 3 个部分构成了产品设备开发。

2.1 读卡器硬件电路设计

读卡器的基本功能需求如下:

- 1) 支持接触式 IC 卡接口, 符合 ISO/IEC 7816-3 标准;
- 2) 支持蓝牙通信, 蓝牙需支持微信的 WeChat AirSync 协议;
- 3) 内置可充电锂电池, 容量不小于 200mAh;
- 4) Flash 空间不小于 128K, SRAM 不小于 48K;
- 5) 带充电状态指示和通信状态指示。

Cortex-M0 微控制器作为硬件系统的核心 MC 基于以上功能需求, 本读卡器选择一款 Cortex-M0 微控制器作为硬件系统的核心 MCU, 该 MCU 硬件资源丰富, 包含 512K 的 Flash 和 48K 的 SRAM, 空间足够用, MCU 集成 2 路 7816 主接口, 支持与 ISO/IEC 7816-3 标准 T=0 和 T=1 传输协议兼容的智能卡设备。集成 USB2.0 全速设备接口模块, 可以实

现 USB 通信, 此外还支持 UART、I2C、GPIO 等接口。从功能、性能看完全满足微信蓝牙读卡器功能需求。

蓝牙部分需要支持微信的开放协议 AirSync, 且必须通过微信硬件平台的认证, 微信硬件平台的官网有已经取得认证的蓝牙芯片和蓝牙模块的型号及供应商, 为降低成本和加快研发进度, 本读卡器选择北京艾威梯 (IVT) 的 CSR 蓝牙模块。该蓝牙模块支持 BR/EDR/BLE 等蓝牙规范, 支持微信的 AirSync 协议, 硬件对外接口为 UART 接口, 工作电压范围 2.3~3.6 V, 最大发射功率+7 dBm, 有效通信距离>5 m。

此外读卡器集成了锂电池充电电路, 该电路通过 4 颗 led 灯指示充电状态以及是否充电完成, 锂电池标称电压 3.7V, 满充电压 4.2V, 另外读卡器上还有一颗 led, 用于指示通信状态。读卡器硬件系统如图 2 所示。

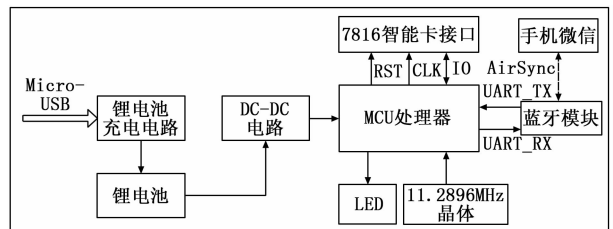


图 2 微信蓝牙读卡器硬件架构图

2.2 读卡器软件设计

读卡器软件部分包括 MCU 驱动部分和蓝牙模块部分, MCU 与蓝牙模块之间通过 UART 接口连接, 通信波特率 115200, 8 个数据位, 1 个停止位, 无校验。

蓝牙模块对手机蓝牙接口协议为 AirSync, 该协议已经封装在蓝牙模块内, 对开发者而言, 蓝牙模块会把 UART 口传入数据流转为符合 AirSync 协议的数据包发给手机, 用户无需关注蓝牙模块内的 AirSync 协议是如何实现的。

MCU 部分需要开发智能卡接口程序, 用于读写兼容 ISO7816 的智能 IC 卡, 此外需要编写 UART 接收中断处理函数, 并在 UART 的中断处理函数中处理与蓝牙模块的通信数据。程序主函数首先进行系统初始化, 配置 MCU 工作主频并使能指令缓存模块 (ICACHE), 然后进行 GPIO、UART、7816 等接口初始化, 配置通信状态指示灯闪烁三次, 表示读卡器上电成功, 使能蓝牙模块电源 VCC, 在 while (1) 循环里, 程序检测 UART 接口是否产生接收中断, 如果蓝牙模块接收到上位机 (手机微信) 的消息, 则会产生 UART 接收中断并置接收成功标志 ReceiveOK=1, 然后判断消息类型, 如是初始化指令, 则对智能卡执行冷复位, 获得 IC 卡的 ATR 信息, 并通过蓝牙模块的 AirSync 返回给上位机, 如是读卡指令, 则发相应 APDU 指令给智能卡, 智能卡产生 response 后, 通过响应位 SW1、SW2 判断是否读卡成功, 如成功则把数据返回给上位机, 如不成功, 则返状态字节 SW1、SW2 返给手机微信。如是写卡指令, 则组织好写卡报文发给智能卡, 根据 IC 卡响应, 判断是否写卡成功, 并把 SW1、SW2 返给手机微信。读卡器部分程序流程如图 3 所示。

3 微信硬件平台设计

3.1 微信硬件平台整体架构设计

微信硬件平台是微信在实现人与人连接, 人与服务连接之后, 腾讯推出的设备与设备及设备与服务连接的物联网解决方

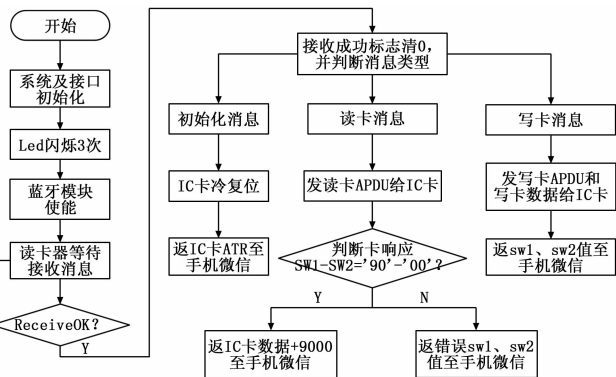


图 3 微信蓝牙读卡器程序流程图

案。微信硬件平台规定了蓝牙设备与手机微信之间的通信协议是 AirSync，协议支持经典蓝牙和 4.0 BLE 蓝牙，目前该协议支持 Android 和 IOS 两个系统，本微信读卡器选择的是 4.0 BLE 蓝牙^[4]。微信蓝牙设备硬件平台整体架构如图 4 所示，其中厂商服务器和蓝牙外设需要厂商开发完成，微信提供服务器的接口以对接厂商的服务器，提供手机的接口（如本文规定的蓝牙协议 AirSync）以对接厂商的蓝牙外设^[5]。

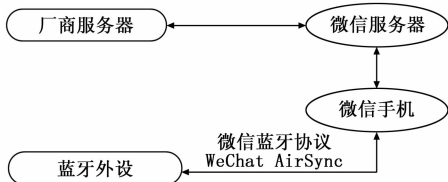


图 4 微信蓝牙设备硬件平台整体架构

3.2 功能与实现流程

对于本项目，根据微信硬件平台的系统架构，在功能实现流程上，主要有测试号申请与开通、扫码绑定与进入测试号、消息的推送与数据接收处理、功能菜单的设计等。

在开发阶段里，我们使用测试号进行测试，按规定每个测试号可以支持 100 个设备 id。测试号需要申请并开通硬件功能权限，申请测试号需要提供蓝牙模块的 MAC 地址和 deviceId 等信息，在进行测试号连接时需要记录 appId 和 appsecret 这两个信息，其次通过微信公众平台接口调试工具获取到 token 令牌和 URL，然后获取一个独立设备的 id，调用 API 接口 create_qrcode，传入设备 id 获取对应的二维码生成串，从而生成设备二维码图片。设备二维码，mac，deviceType+deviceId 是一一对应的，手机微信扫描这个二维码后，就可以直接绑定这个蓝牙设备，绑定后进入聊天界面，可以操作硬件设备，扫码绑定流程如图 5 所示。

扫码绑定只是微信服务端部署的第一步，在此基础上，需要做消息的推送与处理，为此需要在微信服务端代码里调用相关功能类接口，以 Android 为例，需要用到的类接口及作用有：

1) 微信推送消息处理入口类：

com. bluelight. demo. consts; com. bluelight. demo. mock; com. bluelight. demo. protocol;

com. bluelight. demo. service;

com. bluelight. demo. util;

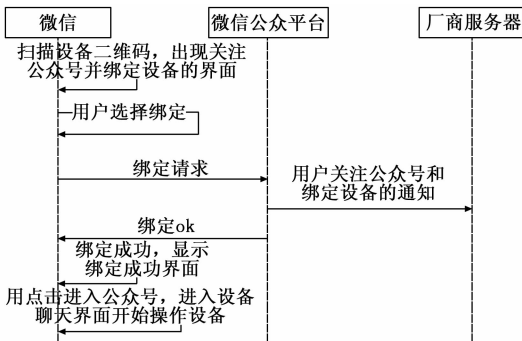


图 5 微信蓝牙设备扫码绑定流程

com. bluelight. demo. web.

2) API 调用包：

com. bluelight. demo. api; com. bluelight. demo. api. json; com. bluelight. demo. api. util.

3) 开发调试工具类：

com. bluelight. tools. Tools, 用于调试阶段：创建菜单、进行设备授权、生成二维码。

4) config. properties 配置公号信息及 token

基于对以上类的调用，完成微信测试号与读卡设备间的消息传递，即消息的推送 PUSH（微信测试号→读卡设备）和消息接收处理（读卡设备→微信测试号）。在本部分的设计中，我们主要依据微信蓝牙外设协议 1.0.4（即 AirSync）中的有关规定，同时加入私有的自定义协议。

1) 微信测试号→读卡设备的通信协议：数据包的格式由包头、包体和包尾组成，其中在包体里加入自定义的私有协议，具体见表 1、表 2 所示。

表 1 微信测试号发送数据给读卡器数据包格式

	包头	包体	包尾
数据包格式	FE 01 00 1E	FE CF 00 01 00	
	75 31 00 00	0A 00 CD 00 01 05	18 00
	0A 00 12 10	00 84 00 00 08	
包头解析	FE	AirSync 协议规定的 bMagicNumber, 固定值	
	01	AirSync 协议规定的包格式版本号, 固定值	
	00 1E	包头+包体+1800 的长度	
	75 31	命令号, 固定值	
	00 00	AirSync 协议规定的 seq, 0000 表示 PUSH 包	
	0A 00 12	固定	
包体解析	10	本示例包体长度	
	FE CF 00 01 00	包体的固定包头, iVT 蓝牙规定	
	0A	包体后数据的长度	
	00 CD 00 01 05	私有的自定义协议, 具体见表 2 描述	
	00 84 00 00 08	本包体示例, 取随机数	

表 2 PUSH 包中私有协议规定

命令头	数据
00 CD 00 P2 P3	APDU

• P2=0 时表示有后续帧，P2=1 时表示是最后一帧。

• P3 为 APDU 的长度, 每包 APDU 数据的最大长度为 64, 当 APDU 的长度大于 64 时 APDU 需做拆包处理。APDU 指的是 ISO7816 协议规定的智能卡应用协议数据单元。

2) 读卡设备→微信测试号的通信协议: 详见表 3 所示。

表 3 读卡器返给微信测试号的数据包结构说明

00 EF 00 P2 P3	DATA	CRC16
----------------	------	-------

- P2=0 时表示有后续帧, P2=1 时表示是最后一帧。
- P3 为 DATA+CRC16 的长度, 每包 DATA 数据的最大长度为 64, 当 DATA 的长度大于 64 时读卡器做拆包处理并发送, 微信测试号接收数据时需根据本约定做拆包和数据拼接。
- CRC16 是 data 的校验值 (含 9000 等 SW 值)。

基于以上协议规定, 实现了读卡设备、微信、公众平台、厂商服务器之间的数据上下行处理, 具体的流程请详见图 6 和图 7。

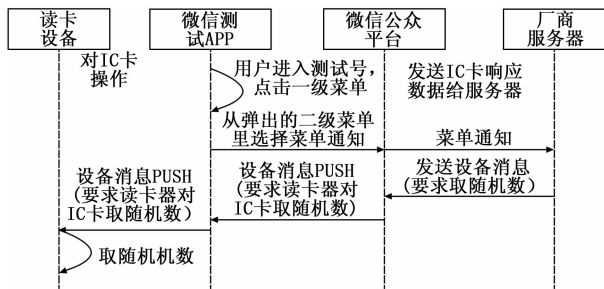


图 6 微信测试号消息推送 (PUSH) 实现流程

对于图 6, 进一步补充说明如下:

- 1) 用户点击菜单, 选择相应功能;
- 2) 微信测试号推送菜单点击事件到厂商服务器;
- 3) 厂商服务器根据用户标识查询绑定的读卡器信息, 未绑定则无法控制读卡器;
- 4) 厂商服务器根据菜单要求构造要发送给设备的数据, 转为二进制。
- 5) 进行 Base64 编码。
- 6) 调用发送设备消息 API 接口, 发送消息。
- 7) 微信测试号收到消息后, 解码后发送给读卡器。

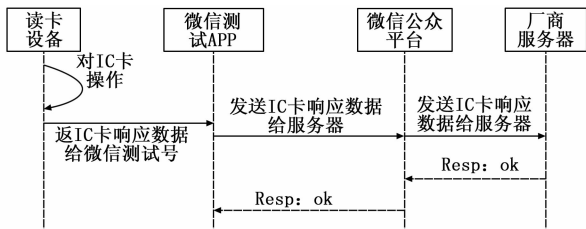


图 7 读卡器数据返回测试号实现流程

对于图 7 中的厂商服务端, 进一步补充说明如下:

- 1) 收到读卡设备返回的数据, 首先进行 BASE64 解码。
- 2) 将二进制数据反序列为自定义的结构。该结构使用与设备约定好的协议解析数据。
- 3) 进行业务逻辑处理。
- 4) 在测试号 APP 中, 将设备发送的消息以文本消息的形式推送到用户微信公众号界面进行展示, 如 IC 卡的客户编号、卡余额等, 并响应一个 resp 包, 返回设备发送来的数据。

5) 将需要返回的数据序列化为二进制数据。

6) 对二进制数据进行 BASE64 编码并按照 PUSH 流程回复。

为了便于测试, 本微信读卡器设计了测试 UI 界面, 在测试 UI 界面完成了自定义 Click 按钮添加, 消息封装等功能。菜单分一二级, 在 Click 一级菜单时, 弹出二级菜单, 菜单结构和主要功能如图 8 所示。在绑定设备、进入测试号后, 用户 Click 相应功能按钮, 即可实现对读卡器的操作。

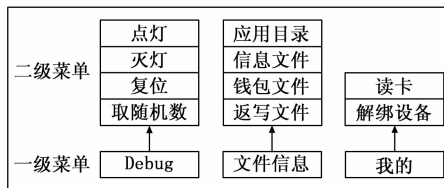


图 8 微信测试号菜单结构及主要功能

经过以上工作后, 我们完成了微信测试号客户端和厂商服务端的开发, 将代码部署到服务器后, 即可以展开测试。

4 试验结果与分析

测试验证分 2 步, 一是使用 AirSyncDebugger 工具测试, 二是使用开发的微信测试号进行设备联调测试。AirSyncDebugger 是腾讯开发的一个便于用户测试硬件设备与 AirSync 协议是否兼容的测试 APP。通过 AirSyncDebugger 测试, 意味着蓝牙设备和微信客户端通信正常。

4.1 DebugApp 测试

首先在手机上安装 AirSyncDebugge.apk, 安装完成后, 打开 APP 后, APP 会自动打开手机蓝牙, 然后给蓝牙读卡器上电 (已插 IC 卡), 进入 APP 测试界面后, 选择手动测试, 选择手动测试的好处是可以自定义 PUSH 包和 Response 包。由于本蓝牙读卡器在 AirSync 协议里数据包的包体里加入了私有协议, 因此用手动发包方式比较合适。测试过程如下:

- 1) 进入手动测试;
- 2) 完成“连接设备→Auth 检测→Init 检测”基本测试, 该测试属于自动完成。若蓝牙模块得到微信授权并且按照 Air-Sync 协议开发, 则会自动进入下一步;
- 3) 选择“编辑 Send Data Push 包”;

4) 按本文章节 3.2 所述的“微信测试号发送数据给读卡器数据包格式”编辑 PUSH 包。注意选择 16 进制编辑。编辑完点击“发送”。本测试选择一条对 IC 卡的初始化指令, 包格式如下: FE 01 00 1E 75 31 00 00 0A 00 12 10 FE CF 00 01 00 0A 00 CD 00 01 05 00 12 00 00 00 18 00, 其中的红色是依据协议添加的私有协议, 表示对 IC 卡的初始化, 即取 IC 卡的 ATR 信息;

5) 以上测试可通过查看 APP 与读卡器之间的数据交互, 确认是否与读卡器通信成功。

本测试截取发送的 PUSH 包和读卡器返回的 log 信息如下:

```

*** send Custom Push ***
data len = 30
data dump = FE 01 00 1E 75 31 00 00 0A 00 12 10 FE CF 00 01 00
0A 00 CD 00 01 05 00 12 00 00 00 18 00. 该测试 PUSH 包中, 00 CD 00
01 05 00 12 00 00 00 为自定义的对 IC 卡取 ATR 指令。
  
```

-----On data receive-----

data length = 66

data dump = FE 01 00 42 27 12 00 03 0A 00 12 34 FE CF 00 01 00 34 00 01 00 01 00 00 00 EF 00 01 0F 3B 69 00 00 41 0A FC EB 3D BE 47 AB 9A 55 97 18 00

data receive seq = 3. 该返回数据包为自定义的格式，具体见本文第三章协议部分描述。

从 AirSyncDebugger 测试可以看出，发送的对 IC 卡取 ATR 信息的 PUSH 包得到了读卡器的正确响应。即读卡器的硬件设备符合 AirSync 协议。

4.2 设备联调测试

首先给蓝牙读卡器上电并插卡，然后打开手机蓝牙及微信测试号，扫描生成的二维码，关注测试号，并绑定连接设备，进入到测试界面后，点击相应的功能按钮进行测试，测试部分截图如图 9 和图 10 所示。



图 9 设备联调截图

从设备联调测试结果看，基于微信硬件平台开发的读卡器达到了设计预期。

5 结论

本设计基于微信硬件技术平台设计，采用先进的 Cotex-M0 微控制器作为硬件系统的核心 MCU，选择通过微信认证的支持微信 AirSync 协议的蓝牙模块，开发了微信蓝牙读卡器

(上接第 169 页)

参考文献:

[1] 沈怀荣, 邵琼玲, 王盛军, 等. 无人机气象探测技术 [M]. 北京: 清华大学社, 2010.

[2] 王磊, 王彦杰, 于喜斌, 等. 基于气象无人机飞行状态的“野值”判定及剔除方法研究 [J]. 传感器世界, 2014, 20 (12): 25-29.

[3] 王彦杰, 周树道, 王敏, 等. 基于气象无人机 GPS/DR 组合导航的单步长测风方法研究 [J]. 传感器世界, 2010, 16 (7): 14-16.

[4] 许成杰, 杨旭东, 朱敏, 等. 临近空间桨梢小翼螺旋桨布局气动增效研究 [J]. 航空计算技术, 2011, 41 (5): 61-64.

[5] 舒峻峰, 康亮杰, 龙炳祥, 等. 基于 Fluent 软件的螺旋桨翼型改进 [J]. 节能技术, 2011, 29 (1): 28-31.

[6] 陈晓. 新型横列式直升机刚性旋翼气动性能分析 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011.

[7] 朱红钧. FLUENT 15.0 流场分析实战指南 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2015.

的软硬件程序，并依据微信的硬件平台框架说明和接入流程，



图 10 设备联调截图

开发了微信测试号服务端程序，添加了必要的功能，实现了微信蓝牙读卡器的基本功能。该项目的研发得益于微信推出的物物相连的设计思想，受益于庞大的微信用户，相信该项目的研究能够提高读卡器产品的用户体验。接下来的工作可以进一步的优化和丰富产品的功能，实现产品的正式上线与发售。

参考文献:

[1] 肖金华, 黄丽红. 基于微信的图书馆信息服务模式研究 [J]. 现代情报, 2013 (6): 55-57.

[2] 朱智星, 白鹏飞, 罗智杰, 等. 基于微信公众平台的云智能采集系统的设计 [J]. 电子技术应用, 2015, 41 (8): 17-19.

[3] 刘峰. 无线多功能读卡器的研究与设计 [D]. 淮南: 安徽理工大学, 2016. 6.

[4] 王金海, 于双, 国海丁, 等. 基于微信公众平台的移动血压监护系统的设计 [J]. 生物医学工程研究, 2016, 35 (4): 260-264.

[5] 张宏鹏, 尹小亮. 基于微信硬件云的智能车位锁系统设计 [J]. 计算机与数字工程, 2017, 328 (2): 403-408.

[6] 腾讯. 微信公众平台开发者文档 [EB/OL]. [2015-04-15]. http://mp.weixin.qq.com/wiki/home/index.html.

[7] 雷瑶. Hex-rotor 无人机多旋翼流场数值模拟与试验研究 [D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.

[8] 郭晓涛. 微型四旋翼无人机控制系统设计与实现 [D]. 南京: 南京航空航天大学, 2012.

[9] 袁红刚, 杨永东, 杨炯, 等. 典型直升机旋翼翼型气动特性试验研究 [J]. 实验流体力学, 2013, 27 (1): 20-24.

[10] 程钰锋, 聂万胜, 胡永平, 等. 基于滑移网格的临近空间螺旋桨流场数值仿真 [J]. 直升机技术, 2012, 2: 7-14.

[11] 符长青, 曹兵. 多旋翼无人机技术基础 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2016.

[12] 邓俊, 刘清倦, 龚定祺, 等. 用于气象探测的低辐射误差温度传感器设计 [J]. 科学与技术工程, 2015, 16 (15): 72-76.

[13] Bian Z Y, Liang R S, Zhang Y J, et al. Multifunctional disk device for optical switch and temperature sensor [J]. 中国物理 B, 2015, 24 (10): 522-525.

[14] 陈娟, 冯锡钰, 蒲春华, 等. 光纤气体传感器综述 [J]. 吉林工学院学报, 1997, 18 (3): 14-19.

[15] 李楠, 汤东, 陈烈, 等. 柴油机车载诊断系统新型颗粒物传感器的研究 [J]. 仪表技术与传感器, 2013 (6): 1-3.