

基于第二代车载诊断系统接口的汽车嵌入式 诊断仪设计

秦颖颀 陈雪峰

(上海蔚来汽车有限公司, 上海 201800)

【摘要】设计了一种嵌入式诊断仪,通过汽车第二代车载诊断系统(OBD II)标准接口实现对车辆状态的诊断。诊断仪硬件基于STM32单片机开发,物理层通过CAN接口与车辆网关通信,通信标准遵守统一诊断服务(UDS)协议,具有3种工作模式,即通过蓝牙连接手机通信、通过串行接口连接计算机通信、通过指令记忆离线工作,并基于C语言采用分层架构进行了软件的嵌入式开发。

关键词:第二代车载诊断系统 诊断 统一诊断服务 嵌入式

中图分类号:U472.9 **文献标志码:**A **DOI:** 10.20104/j.cnki.1674-6546.20230012

Design for Embedded Diagnostics Based on Vehicle OBD II

Qin Yingqi, Chen Xuefeng

(NIO Co., Ltd., Shanghai 201800)

【Abstract】A diagnosis device is designed, which can diagnose vehicle state through standard port of the On-Board Diagnostics II (OBD II). Its software is designed based on STM32 single chip microcomputer, the physics layer communicates with vehicle gateway via CAN, the communication standard abides by the Unified Diagnostic Services (UDS) protocol and operates in three modes, i. e. communication with cell phone via Bluetooth, communication with computer via serial port connection, and operate offline via command memory. The embedded software is developed by hierarchical architecture based on C programming language.

Key word: On Board Diagnostics II (OBD II), Diagnosis, Unified Diagnostic Services (UDS), Embedded

【引用格式】秦颖颀,陈雪峰.基于第二代车载诊断系统接口的汽车嵌入式诊断仪设计[J].汽车工程师,2023(8):42-48.

QIN Y Q, CHEN X F. Design for Embedded Diagnostics Based on Vehicle OBD II[J]. Automotive Engineer, 2023 (8): 42-48.

1 前言

第二代车载诊断系统(On Board Diagnostics II, OBD II)将汽车排放和驾驶相关故障的诊断标准化,使不同制造商生产的车辆具有相同的故障代码^[1-7]。目前,大多数整车制造商采用OBD II标准+ISO 14229统一诊断服务(Unified Diagnostic Services, UDS)协议^[8]开发车载电子控制单元(Electric Control Unit, ECU),车载诊断功能逐步扩展为支持多种车

载ECU的诊断。但汽车诊断仪的种类繁多,体积和质量通常较大,成本较高,且不支持二次开发或者二次开发比较困难,难以满足整车制造商的特殊使用需求,如软件定制化更改、研发阶段大量的诊断工具需求、无网络覆盖的离线场景等。

为此,本文开发一种嵌入式诊断仪,通过连接整车OBD II接口与整车诊断控制器局域网(Controller Area Network, CAN)总线通信,并设计3种工作模式,即与外部手机等蓝牙设备通信、与外

部计算机等串行接口设备通信、自行记忆上一次的指令,快速执行各项诊断任务,如诊断故障码(Diagnostic Trouble Code, DTC)删除与读取、开关运输模式、执行器标定等。诊断仪硬件基于STM32单片机开发,并设计电源模块、快闪存储(Trans Flash, TF)卡存储模块、蓝牙模块、CAN驱动模块、发光二极管(Light Emitting Diode, LED)显示模块、蜂鸣器发声模块以及通用串行总线(Universal Serial Bus, USB)接口模块等外设扩展模块;诊断仪软件基于C语言进行嵌入式开发。

2 诊断仪基本工作原理

OBD II接口一般采用标准尺寸的16针梯形母接头,诊断仪通过OBD II接口与车辆网关的诊断CAN总线连接,进而接入整车ECU的CAN/LIN网络,与整车ECU进行诊断通信,引脚及其定义如图1和表1所示。本文主要使用6个引脚,即Pin1、Pin4、Pin5、Pin6、Pin14、Pin16; Pin4、Pin5、Pin16用于获取12 V电源,为诊断仪供电; Pin6、Pin14是诊断CAN总线引脚,诊断仪通过一路CAN(500 kbit/s)与网关通信,支持CAN 2.0A/B数据传输协议和UDS协议,支持各种中断服务,保证信息及时处理; Pin1为点火信号端子KL15,用于获取车辆点火/上电状态。

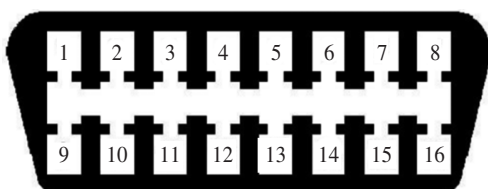


图1 OBD II接口引脚排布

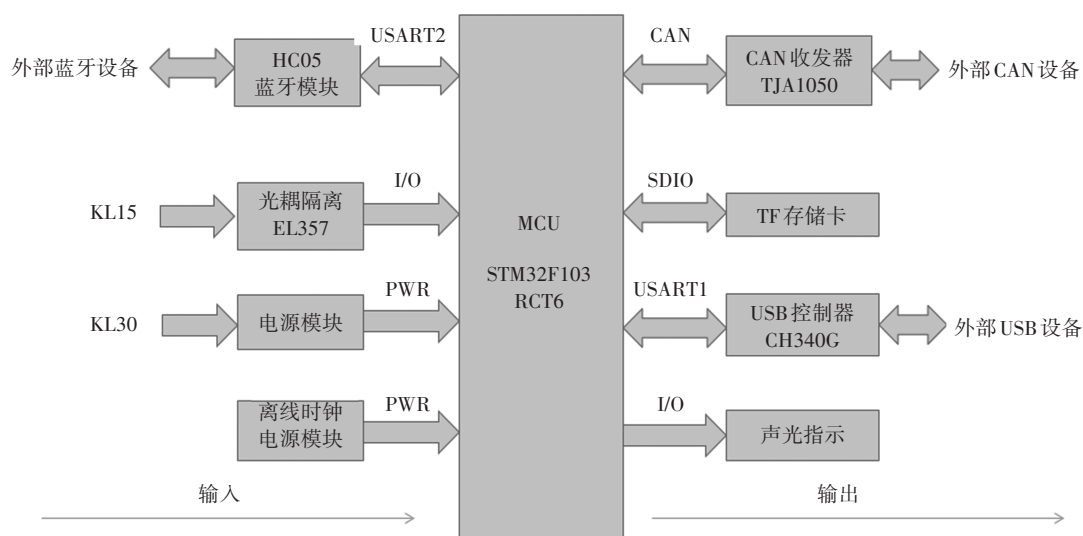


图2 诊断仪的系统框图

表1 OBD II接口引脚定义

引脚	描述	引脚	描述
Pin1	由整车制造商定义	Pin9	由整车制造商定义
Pin2	SAE J1850总线正端	Pin10	SAE J1850总线负端
Pin3	由整车制造商定义	Pin11	由整车制造商定义
Pin4	底盘接地	Pin12	由整车制造商定义
Pin5	信号接地	Pin13	由整车制造商定义
Pin6	CAN总线高电平ISO 15765-4, SAE J2284	Pin14	CAN总线低电平ISO 15765-4, SAE J2284
Pin7	ISO 9141-2 / ISO 14230-4 K线	Pin15	ISO 9141-2 / ISO 14230-4 L线
Pin8	由整车制造商定义	Pin16	整车电源

该诊断仪支持BLE 4.0协议,可通过蓝牙接口与外部手机连接,也可通过USB 2.0接口与外部计算机设备连接。在线模式下,手机和计算机可以发出不同的诊断指令,同时显示诊断结果。离线模式适用于执行单一指令操作,如打开运输模式,诊断仪通过记忆之前的指令,每次上电时均执行同一指令。

诊断仪支持TF卡存储,可将所有诊断过程信息存储到TF卡上,用于测试结果追溯。诊断仪的系统原理如图2所示。

3 电路结构

3.1 MCU最小系统电路

主控制器选择STM32F103系列微控制单元(Micro Controller Unit, MCU),采用ARM Cortex-M内核的32位微控制器,供电电压为2.0~3.6 V(一般选择3.3 V),最高工作频率为72 MHz,片上集成256 KB的闪存(Flash Memory),48 KB的静态随机存取存储

器(Static Random-Access Memory, SRAM),可满足中等复杂度的程序要求^[9]。该MCU具有丰富的硬件接口,如CAN 2.0B接口、安全数字输入输出(Secure Digital Input and Output, SDIO)接口、通用同步/异步收发器(Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter, USART)接口,非常适合作为OBD诊断仪的主控制器,最小系统电路如图3所示。

3.2 电源电路

诊断仪的输入电压为12 V,从OBD引脚直接取电,通过两级降压:一级降压芯片选择78M05三

端正线性稳压器,将电压降至5 V,用于CAN收发器的供电,78M05具有芯片体积小、输出电流大(峰值电流为700 mA)、输出电压噪声低(40 μV)、工作温度范围大(-65~150 $^{\circ}\text{C}$)的优点^[2],无需使用散热片;二级降压芯片选择AMS1117-3.3三端正向低压降稳压器,将电压降至3.3 V,用于MCU系统、SD卡、蓝牙、串行接口等模块的供电,AMS1117-3.3芯片体积小、输出电流大(峰值电流为1 A)、工作温度范围大(-40~125 $^{\circ}\text{C}$)、工作压差低(最低为1 V),同样无需使用散热片^[10]。电源模块电路如图4所示。

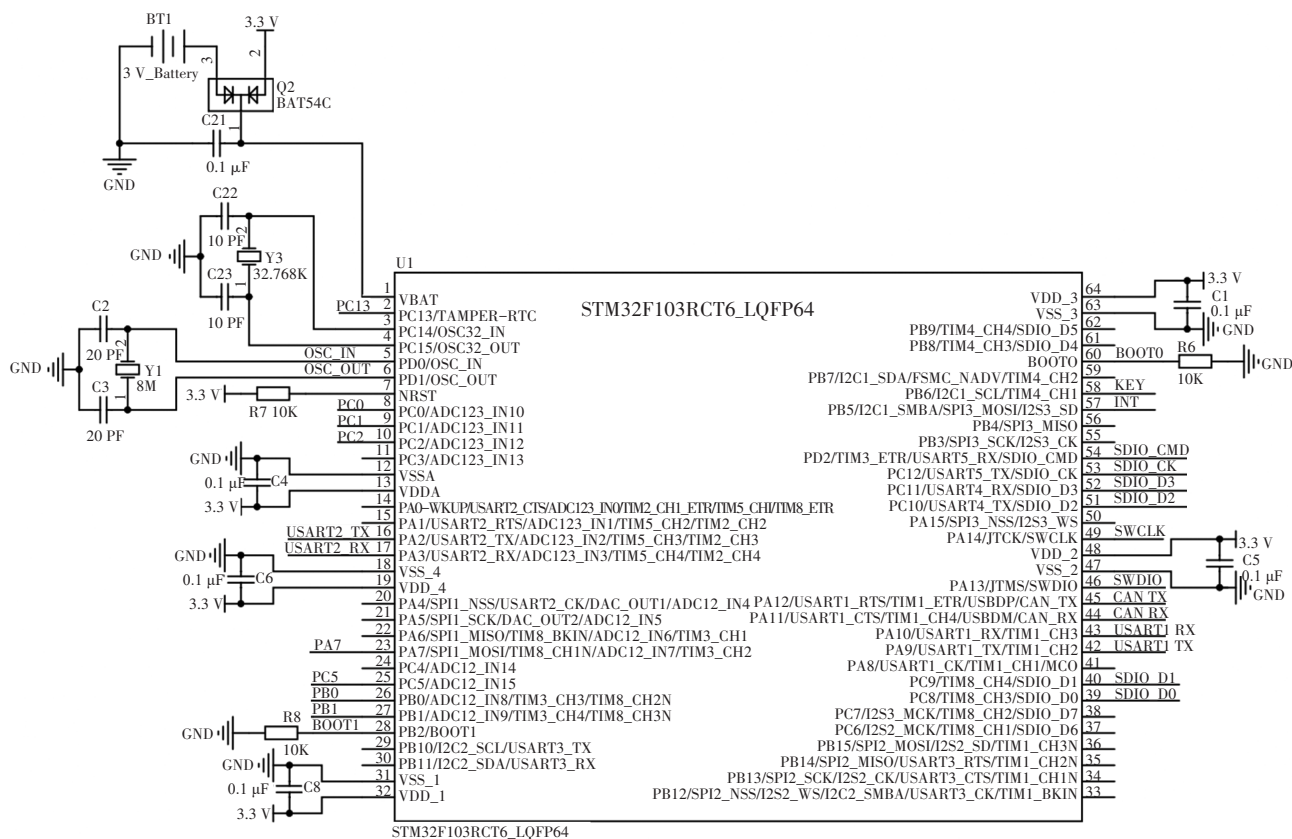


图3 主控制器最小系统电路

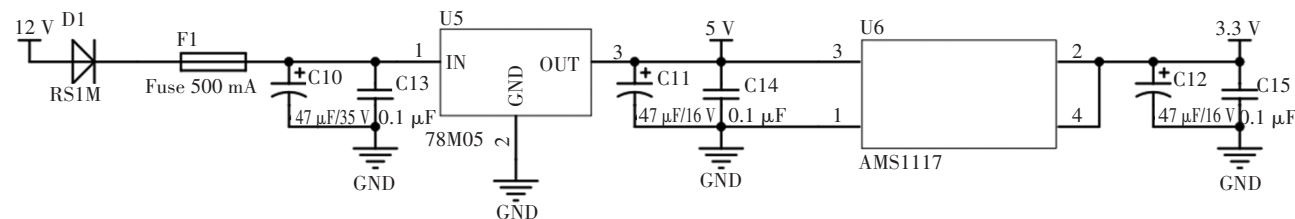


图4 电源模块电路

3.3 CAN收发器电路

MCU的CAN接口无法直接发送和接收符合CAN总线物理层协议的差分信号,需要通过CAN收发器进行电平转换,本文选择TJA1050作为CAN收发器。TJA1050的供电电压为4.75~5.25 V(一般选

择5 V),电磁兼容性(Electromagnetic Compatibility, EMC)斜率控制较好,无源特性良好(不上电时总线引脚漏电流为0 μA),总线传输速率最高支持1 Mbit/s,输入电平兼容3.3 V MCU电平,与GB/T 41588.1—2022《道路车辆 控制器局域网(CAN) 第1部分:

数据链路层和物理信令》完全兼容,具有总线引脚短路保护功能^[11],其电路如图5所示。

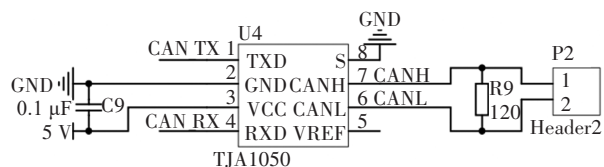


图5 CAN收发器电路

3.4 蓝牙模块接口电路

根据诊断仪的实际使用场景,人机交互均在近距离条件下进行,故选择蓝牙作为无线通信方式。选用HC-05蓝牙模块,通过MCU的USART串行接口驱动,可以与手机等外部蓝牙设备进行无线通信。HC-05蓝牙模块体积较小,适合直接焊接在印刷电路板(Printed Circuit Board, PCB)上,支持主、从模式(诊断仪选择从模式),供电电压为3.3~3.6 V(一般选择3.3 V,完全兼容MCU TTL电平),指令集丰富,通信距离可达8 m,工作稳定,其与MCU的接口电路如图6所示。

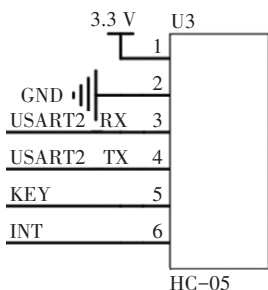


图6 蓝牙模块接口电路

3.5 数据存储模块接口电路

选择TF卡作为数据存储模块,TF卡相对SD卡体积较小,适用于PCB空间有限的场景。通过MCU自带的SD/TF卡驱动接口SDIO模块进行控制,很容易实现文件分配表(File Allocation Table, FAT)文件系统的创建和编辑,存储数据稳定,诊断结果可以实时备份在TF卡中,存储模块电路如图7所示。

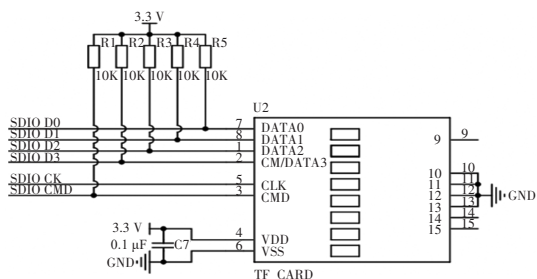


图7 TF卡存储模块电路

3.6 串行接口模块电路

为实现诊断仪与计算机等设备的有线通信,选择CH340作为USB转通用异步收发器(Universal

Asynchronous Receiver Transmitter, UART) 芯片。CH340完全兼容USB 2.0,与Windows的串行接口应用程序也完全兼容,供电电压支持3.3 V和5 V,支持50 bit/s~2 Mbit/s传输速率^[12]。选择MCU的USART1模块接口用于串行接口通信,同时作为STM32的程序烧写口,串行接口电路如图8所示,PCB上也同时预留了串行线调试(Serial Wire Debug, SWD)+烧写接口。

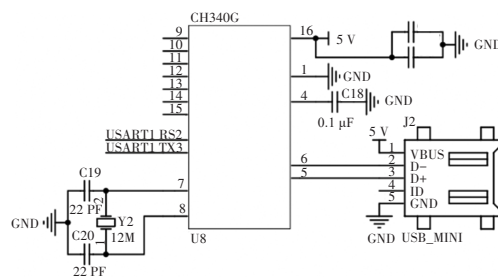


图8 串口模块电路

3.7 其他辅助电路

其他的辅助电路包括:

- a. 声光指示模块电路。使用一支蜂鸣器发声,使用RGB混色LED发光,电路如图9所示。
- b. KL15光耦隔离电路。使用EL357光耦实现电气隔离和降压,电路如图10所示。
- c. 离线时钟电源模块电路。使用纽扣电池方案,在不连接实车时保持诊断仪的时钟正常运行,保证诊断结果可追溯,电路如图11所示。
- d. OBD II接口电路。选择标准尺寸的OBD II公头作为主接插件与车端对接,实现诊断通信,电路如图12所示。

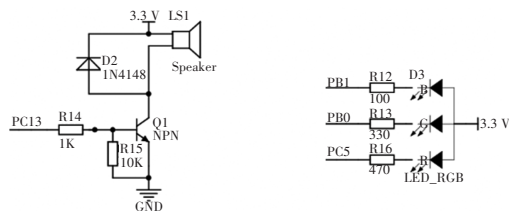


图9 声光指示模块电路

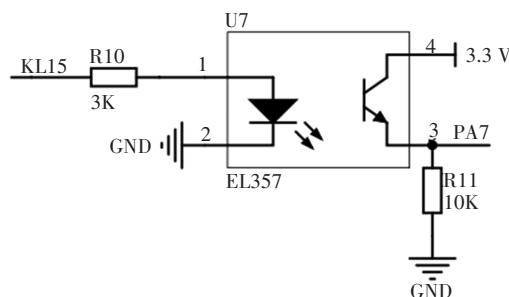


图10 KL15光耦隔离电路

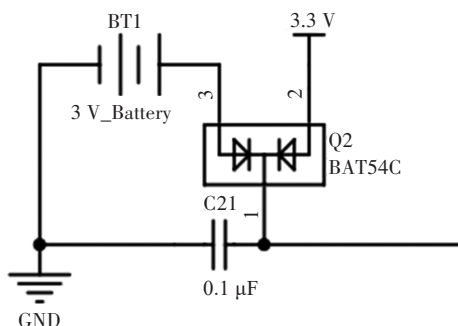


图 11 离线时钟电源模块电路

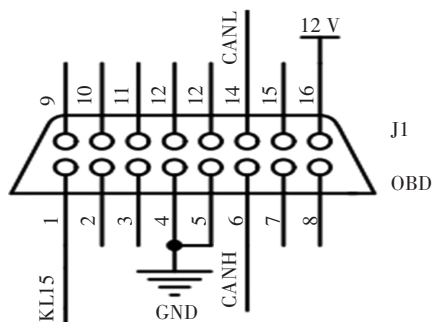


图 12 OBD II接口电路

4 软件实现方法

使用C语言进行嵌入式程序开发,在Keil集成开发环境(Integrated Development Environment, IDE)

下进行编译和调试,编程的主体思路是软件配合硬件,即先完成电路设计、PCB布线,再进行软件开发,因为相对于硬件更改,软件调整的灵活度更高。目前,STM32编程一般分为3个层级,即底层硬件抽象层(Hardware Abstraction Layer, HAL)、中间驱动层、上层应用层,为提高程序的可读性和简洁性,本文未采用HAL编程,采用中间驱动层+上层应用层的编程方式。

驱动层采用STM32官方固件库函数作为应用程序接口(Application Programming Interface, API),取代传统的直接寄存器配置方案,以提高编程效率和代码的可读性。具体功能包括通用输入输出(General Purpose Input Output, GPIO)端口初始化、CAN模块初始化、USART模块初始化、SDIO模块初始化、中断初始化等,使用的典型固件库函数集合如表2所示^[13]。

上层应用层通过调用中间驱动层API封装具体功能需求。应用层函数主要包括2类:一是实现基础通信功能的函数,包括CAN信号发送和接收、蓝牙/串行接口消息的发送和接收、TF卡的读写操作、声光逻辑控制等;二是实现具体应用,包括各种UDS诊断控制流等。

诊断仪总体的软件工作流程如图13所示。

表 2 主要使用的固件库函数集

模块	主要的固件库函数	模块	主要的固件库函数
GPIO	GPIO_InitTypeDef; GPIO_Init(); GPIO_ReadInputDataBit(); GPIO_ResetBits(); GPIO_SetBits(); GPIO_PinRemapConfig();	SDIO	SDIO_DeInit(); SDIO_Init(); SDIO_StructInit(); SDIO_ClockCmd(); SDIO_ITConfig(); SDIO_ReadData(); SDIO_WriteData();
CAN	CAN_InitTypeDef; CAN_DeInit(); CAN_StructInit(); CAN_Init();	中断(Interrupt)	TIMx_IRQHandler(); USARTx_IRQHandler(); CANx_RX0_IRQHandler();
定时器(Timer)	TIM_TimeBaseInitTypeDef; TIM_DeInit(); TIM_TimeBaseInit(); TIM_ClearFlag(); TIM_ITConfig(); TIM_Cmd();	时钟(Clock)	RCC_APB1PeriphClockCmd(); RCC_APB2PeriphClockCmd(); HSE_SetSysClock(); RCC_DeInit(); RCC_HSEConfig(); Accident(); RCC_PCLK2Config(); RCC_PCLK1Config(); RCC_PLLConfig(); RCC_PLLCmd(); RCC_SYSClkConfig();
USART	USART_InitTypeDef; USART_DeInit(); USART_Init(); USART_ITConfig(); USART_Cmd(); USART_ClearFlag(); USART_SendData(); USART_GetFlagStatus();		

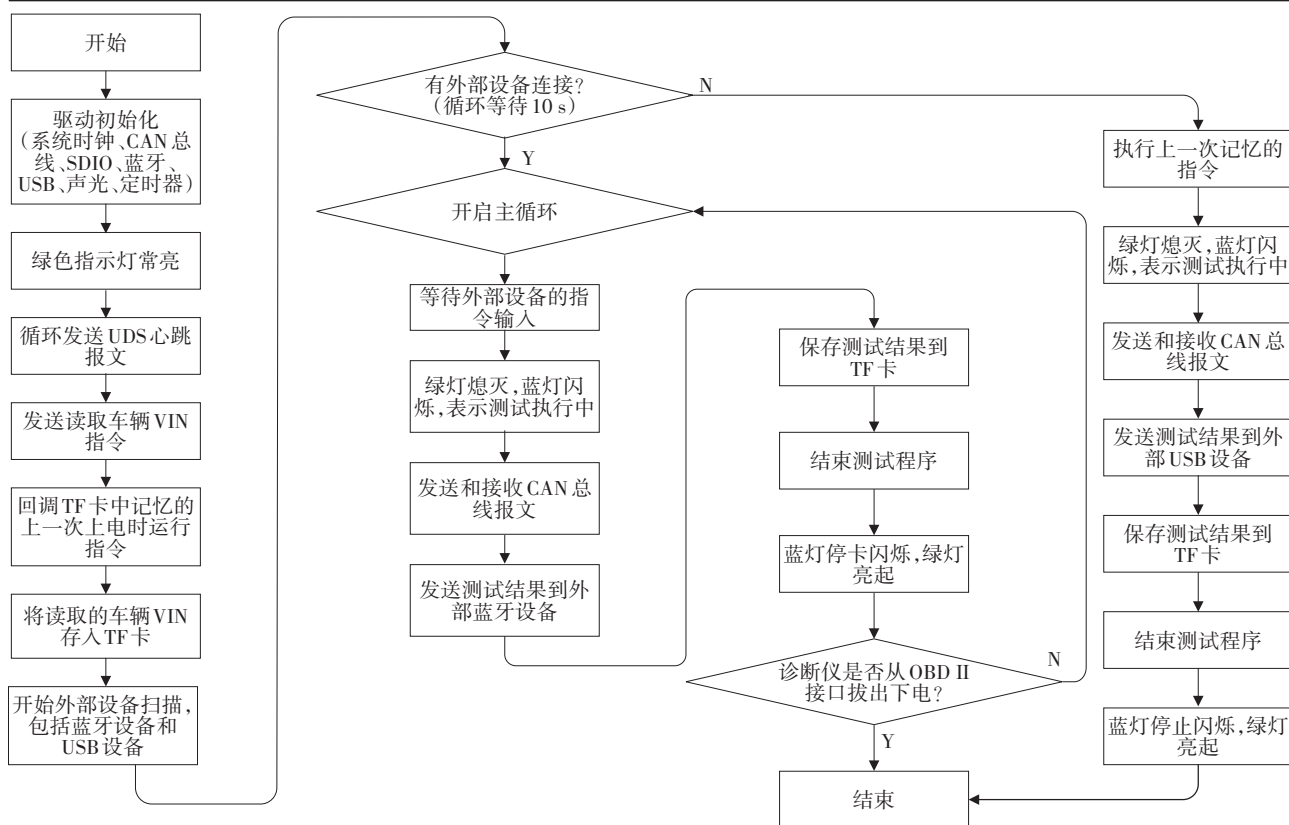


图 13 诊断仪软件流程

5 应用与测试

诊断仪不主动向手机推送蓝牙信息(除自动发送“AT+INQC”连接信息外,直接忽略该信号即可),任何信息的调取,都需要手机 APP 先发送指令,避免误操作,主要功能如表 3 所示。

表 3 诊断功能

指令 ID	执行的测试功能
“00”	诊断仪 ID 读取
“01”	DTC 删除
“02”	DTC 读取
“03”	DTC 读取+删除+读取
“04”	门电机自学习
“05”	运输模式开启
“06”	运输模式关闭
“07”	蓄电池 SOC 读取
“08”	高压 SOC 读取
“09”	静态电流检测
“10”	静态电流读取
“11”	运输模式切换
“12”	运输模式读取
“13”	VIN 码读取
“14”	离线时钟读取

针对表 3 所示的功能,设计了功能测试和性能测试:功能测试主要包含蓝牙通信、诊断指令执行、诊断结果读取、测试结果日志打印;性能测试主要包含长时间开机(大于 10 h)、反复上下电(5 000 次)、循环执行指令功能。测试中发现的一些严重软件错误(Bug),如数组越界导致异常重启、压力测试下程序跑飞,进行了代码修复,可以实现连续开机超过 10 h 和上下电 5 000 次无异常。

6 结束语

本文设计了一种基于 OBD II 接口的诊断仪,采用汽车行业标准的软、硬件接口(软件采用 CAN 2.0/UDS 协议接口,硬件采用 OBD II 接口),设计了电源模块、TF 卡存储模块、蓝牙模块、CAN 驱动模块、LED 显示模块、蜂鸣器发声模块、USB 接口模块等外设扩展模块,采用分层架构进行了嵌入式软件开发,对于 UDS 的基本功能,均提前封装为中间层 API,作为原子能力供上层 APP 调用,降低了软件开发的难度,提高了功能迭代的效率。

参考文献

- [1] RAMAI C, RAMNARINE V, RAMHARACK S, et al. Framework for Building Low-Cost OBD-II Data-Logging

- Systems for Battery Electric Vehicles[J]. *Vehicles*, 2022, 4(4): 1209-1222.
- [2] SATRIO A N, ENDRO A, ANDRIAN R. Utilization of Onboard Diagnostic II (OBD-II) on Four Wheel Vehicles for Car Data Recorder Prototype[C]// *Proceedings of the 2018 6th International Conference on Information and Communication Technology (ICoICT)*, 2018.
- [3] M Awais Khan Niazi, Anique Nayyar, Ali Raza, et al. Development of An On-Board Diagnostic (OBD) Kit for Troubleshooting of Compliant Vehicles[C]// *In Proceedings of the 2013 IEEE 9th International Conference on Emerging Technologies (ICET)*, Hongkong, China, 2013.
- [4] PRETTY C J, PRATAP K S. Design and Development of OBD-II Compliant Driver Information System[J]. *Indian Journal of Science and Technology*, 2015(8).
- [5] BAEK S H, JEONG D W, PARK Y S, et al. Implementation Vehicle Driving State System with OBD-II, MOST Network [C]// *Proceedings of the 17th Asia Pacific Conference on Communications*. Sabah: IEEE, 2011.
- [6] SAWANT R P, MANE Y B. Design and Development of On-Board Diagnostic (OBD) Device for Cars[C]// *Proceedings of the 2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)*. Pune, India: IEEE, 2018.
- [7] YEN M H, TIAN S L, LIN Y T, et al. Combining a Universal OBD-II Module with Deep Learning to Develop an Eco-Driving Analysis System[J]. *Applied Science*, 2021, 11(10).
- [8] ISO. Road vehicles — Unified diagnostic services (UDS) — Part 1: Application layer: ISO 14229-1: 2020[S/OL]. 2020-02-01[2023-01-13]. <https://www.iso.org/standard/72439.html#:~:text=This%20document%20specifies%20data%20link%20independent%20requirements%20of,serial%20data%20link%20embedded%20in%20a%20road%20vehicle..>
- [9] STMicroelectronics. Datasheet – L78M – Precision 500 mA Regulators[EB/OL]. [2023-01-13]. https://www.st.com/en/power-management/l78m.html#st_description_sec-nav-tab.
- [10] Advanced Monolithic Systems. AMS1117, 800 mA Low Dropout Voltage Regulator[EB/OL]. [2023-01-13]. <https://www.alldatasheetcn.com/datasheet-pdf/pdf/49118/ADMOS/AMS1117.html>.
- [11] NXP. Data sheet, High Speed CAN Transceiver TJA1050 [EB/OL]. [2023-01-13]. <https://www.alldatasheetcn.com/datasheet-pdf/pdf/1245028/NXP/TJA1050.html>.
- [12] DreamCity Innovations. CH340G USB to UART Interface Datasheet[EB/OL]. [2023-01-13]. <https://www.alldatasheetcn.com/datasheet-pdf/pdf/1132618/ETC2/CH340G.html>.
- [13] STMicroelectronics. Reference manual: STM32F101xx, STM32F102xx, STM32F103xx, STM32F105xx and STM32F107xx advanced Arm-based 32-bit MCUs: RM0008[EB/OL]. [2023-01-13]. <https://www.keil.com/dd/docs/datashts/st/stm32f10xxx.pdf>.

(责任编辑 弦歌)

修改稿收到日期为2013年1月13日。