

电控发动机 ECU 标定系统^①

陈家琪, 刘 轩, 段利泉

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘 要: 为了对汽车发动机电子控制单元的自主研发提供检验支持, 开发了一款基于 CAN 总线通讯的发动机电子控制单元标定系统。标定系统包括标定系统软件、通信模块、待标定发动机电子控制单元和被测发动机 4 个部分, 采用多主结构 CAN-bus 数据通信方式。实现了上位机的标定表格设计, 表格数据的整理, 标准协议与自定义协议的转换接口的设计, 基于协议的数据传输、在线烧录、采集、控制与诊断等功能。在汽车发动机电喷系统产品上的实际应用表明: 该标定系统通用性好, 数据处理效率高, 适用于不同协议的发动机电子控制单元产品。

关键词: 汽车电子; 电控发动机; 标定; 电子控制单元; 数据采集处理

Electronic Control Engine ECU Calibration System

CHEN Jia-Qi, LIU Xuan, DUAN Li-Quan

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: To provide testing support for independent research and development of the automotive electronic control unit, an engine ECU calibration system which based on the CAN bus communication was developed. The calibration system includes four parts. That's a calibration system software, communication module, the engine ECU and the engine that to be calibrated and tested. It uses the CAN-bus as the communication which has the main structure of a higher rate. The main achievement is that design the host computer's table, collect and process the data, design the conversion interface between the standard protocol and a custom protocol, send data, receive data, load data, upload data, programming, acquisition data, and hardware detection, control functions, etc. EFI products in the practical application of the system showed that the system agreed with good universal property, efficient data processing and it is suitable for various ECU products that use different protocol.

Key words: automobile electron; electronic controlled engine; calibration; ECU; data acquisition and processing

发动机的工作过程是一个复杂的多维非线性过程, 其电子控制单元 ECU (Electronic Control Unit) 内存储了大量的机械动力学和热力学参数 (如各种 MAP、特征值等), 这些重要的参数将最终关系到车辆行驶的经济性、动力性和排放性。通常某一型号发动机 ECU 内部有固定的控制算法和数千个可调的自由参数, 对于不同的车型这些参数都需要通过发动机匹配标定进行优化, 使得整车达到各种排放与驾驶性能指标。依靠标定系统可以测量 ECU 内部的 MAP 以及

动态实时数据, 调整、优化和确定电控系统的运行参数 (如发动机转速)、控制参数 (如喷油脉宽) 和各控制数学模型, 来对 ECU 中的参数进行全局优化^[1], 并最终确定这些参数的最佳值。

标定系统通过 CAN 总线^[2]与电控系统硬件通信, 根据某型号 ECU 自定义了标定系统与 USB-CAN 设备之间的通信协议, 同时为了达到规范性, 通用性和产业化等特点, 另外制定了一个通用协议转换模块, 将自定义的协议转化为国际标准协议如 CCP^[3]等, 既满

① 收稿时间:2011-05-19;收到修改稿时间:2011-06-25

足了企业标准协议，又符合国际标准协议。

1 标定系统架构

标定系统主要由上位机标定系统软件、通信模块、下位机待标定发动机 ECU 和被测发动机 4 个部分组成，硬件组成示意图如图 1 所示。系统的控制过程为：标定系统软件通过 USB-CAN 接口卡发送指令，ECU 通过 CAN 总线接受指令并进行相应的操作，ECU 按同样的流程返回数据给上位机。

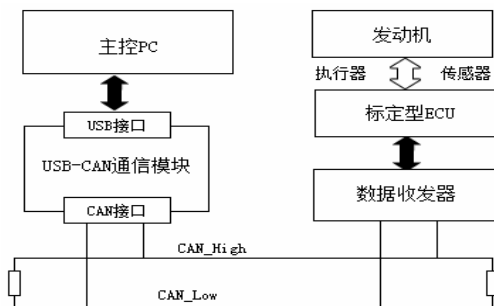


图 1 标定系统硬件组成及连接

系统各个组成部分的功能分工明确：上位机标定软件完成人机交互、与 ECU 通讯、标定数据管理等功能；USB-CAN 接口实现标定系统主机与 ECU 的快速通讯，完成标定系统软件与 ECU 的数据交互；ECU 对发动机传感器执行器的信息进行检测后，将这些信息传递到上位机标定系统，并接收来自上位机标定系统的命令和控制参数，控制发动机按照标定人员设定的参数运行，以保证发动机正常运行。

通讯模块采用 USBCAN-I 接口卡连接上位机的 USB 接口和 ECU 的 msCAN12 模块，以实现最高 1Mbit/s 的高速率通讯。其自带光电隔离模块，使 USBCAN-I/II 接口卡避免由于地环流造成的损坏，增强系统在恶劣环境中使用的可靠性。

2 标定协议与数据处理

标定系统采用 VC++编写，主要包括通讯模块、数据存储管理模块和人机交互界面三部分，标定软件结构图如图 2 所示。

发动机电控系统应用开发过程中，ECU 的标定试验是整个测试工作的基础，发动机台架标定的基本过程^[4]如下。

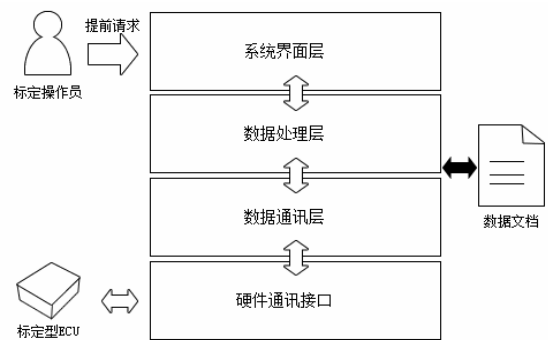


图 2 标定系统的软件结构

(1) 基本控制参数标定：标定 ECU 中基本控制参数（如基本喷油脉宽、基本点火提前角等）。

(2) 稳态修正参数标定：根据不同的环境变化（如进气温度、大气压力等）对 ECU 参数进行修正。

(3) 怠速工况参数标定：怠速时节气门接近关闭，吸入气缸内的混合气较少，应通过调节参数使 ECU 控制怠速控制阀，使发动机转速始终处于最佳怠速。

(4) 瞬态工况参数标定：启动时发动机转速和喷油量难以确定，此时应该使拖动和暖机时间尽可能缩短，并保证好排放性能。当发动机处于加减速等瞬态工况时，应调节控制参数来防止发动机气缸中的空燃比出现加速偏稀，减速偏浓的现象来保证发动机平稳迅速过渡。

2.1 标定协议设计

标定系统通常使用的协议主要包括两种：基于 KWP2000 协议，并通过 SCI 串口进行通信的标定系统，但其只能实现中低速数据的稳定传输和匹配标定；基于 CAN 总线，使用标准 J1939 协议的标定系统，虽然这种系统的传输速度有了明显改善，但是所采用的协议非常广泛，使各个研发机构开发的标定系统标准不一^[5]。

针对这些问题，本系统单独定义了一个协议转换接口 PCI(Protocol Converse Interface)，使用过程中可以自行选择自定义的协议 OSCP (Optional Simplified Custom Protocol) 或者 ASAP 标准中的 CCP 协议，默认情况下可实现自动转换。OSCP 协议的结构图如图 3 所示。

OSCP 协议基于主-从模式，上位机标定系统是主设备，待标定 ECU 是从设备。针对所使用的某型号 ECU 的 OSCP 协议的数据帧格式如表 1 所示。

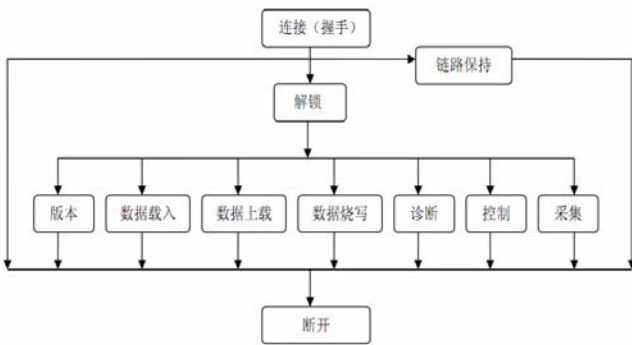


图3 OSCP协议结构图

表1 OSCP协议帧格式

CANID	DLC	数据场(HEX)							
		B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7

其中，CANID：区分数据帧类型，判断其来自上位机还是 ECU，以及 ECU 的数据帧类型。0x101 代表上位机，0x102 代表 ECU；

DLC:表示在数据帧时实际的数据长度；

B0: 是发送命令或回答命令，包括连接、解锁、版本信息、载入标定数据、上载标定数据、烧写标定数据、诊断、硬件控制、数据采集和断开连接；

B1-B7: 表示不同命令下对应的具体参数。

基于 CCP 协议的 ECU 标定也采用主-从通信方式^[6]，主设备是测量标定系统 MCS(Measurement Calibration System),从设备是需要标定的 ECU。基于 CCP 协议的标定只占用两帧 CAN 报文,分别是命令接收对象 CRO 和数据传输对象 DTO, CRO 由主设备发给从设备, DTO 是从设备反馈的报文。按照 CCP 协议, CRO 数据场的第 1 个字节为命令代码 CMD(Command Code), 从设备通过 CMD 代码判断主设备请求的是哪条命令。数据场的第 2 个字节是命令计数器 CTR。剩余 6 个字节均为命令参数, 每条命令有各自对应的命令参数。CCP 标准帧的数据格式如表 2 所示。

表2 CCP 标准帧的数据格式

CRO		数据区						
CMD	CTR	B2	B3	B4	B5	B6	B7	
DTO		数据区						
PID	ERR	CTR	B3	B4	B5	B6	B7	

根据两种协议的特点，协议转换的实现如下：

(1) CCP 协议向 OSCP 协议转换：首先解析 CCP 报文，若为 CRO，则将 CANID 置为 0x101，反之置为 0x102；接着获得标准帧中的 CMD 指令，读取其值赋给 B0 位。B1 位填入对应指令的指令码，剩余的 B2~B7 依次对应填入具体数据。

(2) OSCP 协议向 CCP 协议转换：首先解析 OSCP 报文读取 CANID，若 CANID 为 0x101，则按照 CRO 打包数据；反之按照 DTO 打包数据。

系统自定义协议的特点是可以实现 OSCP 协议与 CCP 协议之间的转换,使标定系统具有一定的通用性,然而不足之处是,每次只能实现一种 OSCP 协议与 CCP 协议的转换,有待进一步改进,从而实现多种 OSCP 协议与 CCP 之间的转换。

2.2 数据传输处理与存储管理

通讯模块包括发送数据模块、接收数据模块和计时模块三部分,借助 USB-CAN 板卡自带的库函数文件实现计算机与 USB-CAN 间的数据通讯。SendData() 函数给出了数据发送的流程实现,数据发送的伪代码实现如下：

```

Function SendData(data)
1 FrameObj=GenerateObj(data)
2 for all FrameObj do
3 Transmit(FrameObj)
4 WaitForReply(FrameObj)
5 if WaitForReply then
6 SendData(nextData);
7 else if timeOut and timeOutCount<=3 then
8 SendData(data)
9 end if
    
```

RecvData()函数给出了数据接收的流程实现,数据接收的伪代码实现可以表示为：

```

Function RecvData(data)
1 len=getDataLength(data);
2 if len>0 then
3 for all data do
4 Analysis(data)
5 Save(data)
6 Show(data)
7 end for
8 else
    
```

9 RecvData(data)

10 end if

在接收模块和计时模块中，根据协议要求，需要在数据报文发出后等待接收 ECU 发回的确认报文，等待时长为 25ms，超时将重新发送当前报文，超时 3 次将停止发送报文，并返回通讯中断信息。为此，系统设计了一条独立的数据接收线程和一条计时器线程，线程执行过程如图 4 所示。

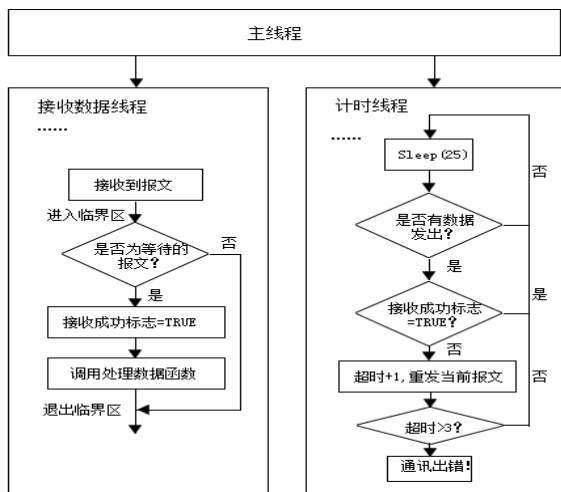


图 4 接收线程和计时线程的实现

数据处理包括报文数据的生成、解析、CCP 协议与 OSCP 协议间报文格式的转换。在发送请求过程中，系统将要发送的数据或提交的命令按当前所选择的协议进行数据报文生成，用户可以选择 OSCP 协议或标准 CCP 协议进行报文发送。报文数据解析进程中，系统将得到的报文，按协议进行解析并存放于相应变量中，同时更新界面视图。为了适应不同协议标准，系统提供了 OSCP 协议与 CCP 协议的转换接口，针对采用不同 ECU 数据收发协议进行选择。

系统主要是为了交互式测试使用，所以其存储数据量并不大，同时为了便于数据转换，采用 XML 格式的文件来存取输入输出数据。由于采用 VC++ 作为开发工具，所以在 MFC 中使用了 MSXML 的 DOM(Document Object Model)文档对象模型^[7]接口，DOM 是以层次结构组织的阶段或信息片段的集合，DOM 提供了 API，允许开发人员添加、编辑、移动或删除树中任意位置的节点。设计用于分析文档，实现对数据的操作和管理。

系统中定义了扩展名为 cal 的文件类型，以保存从

ECU 中读取的数据及标定人员设置的待保存的数据。

3 实际应用

标定系统设计了友好的人机交互界面，如图 5 所示。在工具栏中提供了待完成功能的快捷按钮。从左至右依次为：启动 CAN-bus 命令按钮、为对应的表格绘制图形命令按钮、连接 ECU 命令按钮、断开与 ECU 的连接命令按钮、解锁命令按钮、上载数据命令按钮、载入数据命令按钮、烧写数据命令按钮、数据采集命令按钮、硬件诊断命令按钮、硬件控制命令按钮、读取 ECU 版本信息命令按钮。界面左侧为待标定的各个表格参数，在右边表格中对应显示其内容。

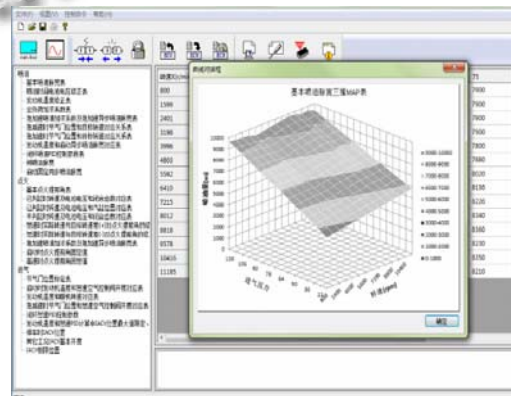


图 5 人机交互界面

当 ECU 启动后，待标定数据从 ROM 中复制到 RAM 中为标定做准备。标定操作员运行标定系统并发送连接命令给 ECU，连接成功后，标定系统开始读取 ECU 中的待标定数据，并将其在界面右侧的表格中显示出来，在此修改数据并点击绘制图形按钮，查看修改后的数据对应的 MAP 图，最后将修改后的数据再写入 ECU，并烧写入 FLASH 中。

标定系统目前已应用于 ECU 产品的研发中，通过大量反复的实验，最终完成对 ECU 参数的标定。实际测量表明，该标定系统可以对各种参数进行标定，并提供直观的图形化显示。修正后的点火提前角 MAP 图、喷油 MAP 图及电压修正 MAP 图分别如图 6 和图 7 所示。

应用表明，基于 CAN 总线，使用标准 J1939 协议开发的标定系统标准不一，使用 ASAP 标准中的 CCP 协议的标定系统^[8]只能解析标准 CCP 协议，不能适用于简化协议的标定系统。系统综合这两种协议的特点，制定

的协议转换接口可以实现 OSCP 协议与 CCP 协议的转换,从而使标定系统更具有通用性。然而,此系统仍然存在不足,每次只能实现一种 OSCP 与 CCP 协议的转换,有待进一步研究,使系统具有更广泛的通用性^[9]。

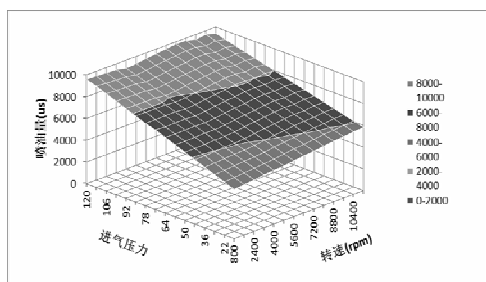


图6 喷油 MAP 图

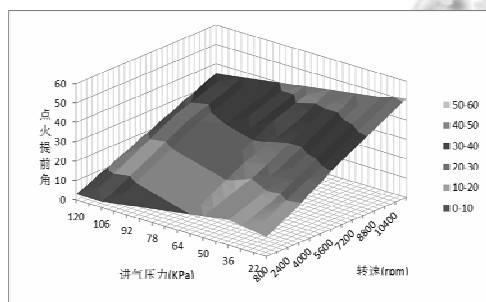


图7 点火提前角 MAP 图

最后对文档的存储也做了分析,通过对文档数据的正确性检查,信息的反复读取写入表明,自定义格式文件使用起来方便快捷,占用空间小,极大的提高了系统运行的效率。

4 结语

通过在实际发动机 ECU 上试验和应用后,表明该标定系统能够进行可靠的数据传输,对 ECU 待标定数

据进行精确标定;对使用不同协议的 ECU 进行有效的标定,适用于不同协议的发动机 ECU 产品。采用自定义的 cal 文件格式,方便了文档数据的分析和处理。该标定软件显著地提高了发动机 ECU 标定的效率,为 ECU 提供了一种高效的研发工具,对缩短 ECU 的研发周期和降低研发成本具有重要的意义。

参考文献

- 1 Zhang CL, Zhang FJ, Huang Y, Ge YS, Liu FS. Computer-Based Simulation and Test System for the Calibration of EFI Engine. Journal of Beijing Institute of Technology, 2004,13(1):71-75.
- 2 Cheng XM. Design strategy of CAN fieldbus data acquisition system. Automation Instrumentation, 2004,25(6):21-25.
- 3 S0094-5765(99)00172-1, CAN Calibration Protocol.
- 4 黄海燕,姜述刚,张跃涛,王绍光,张聿勋.电控汽油机台架试验综合管理系统的研制.车用发动机,1999,119(1):34-37.
- 5 Yang SW, Zhu KQ, Xu QK, Yang L, Zhuo B. Multiple Electronic Control Units Calibration system based on explicit calibration protocol and J1939 protocol. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008,21(1):42-46.
- 6 Wang JX, Yang L, Feng J. Development of a new Calibration System for Electronic Control Units Based on CCP. Transaction of CSICE, 2005,23(2):147-154.
- 7 张朝明,等.XML 开发典型应用:数据标记、处理、共享与分析.北京:电子工业出版社,2008.
- 8 蒋建春,陈洪霞,郑太雄.基于 CCP 的 ECU 在线编程技术的实现.计算机工程,2011,31(5):241-243.
- 9 刘玉长,罗广德.汽油机 ECU 控制参数的台架标定.内燃机, 2010,(6):37-41.