

基于 ASAP 架构的发动机 ECU 标定系统开发

庄继晖 谢 辉 李苏苏 朱仲文

天津大学内燃机燃烧学国家重点实验室,天津,300072

摘要:基于 ASAP 架构,设计开发了 A2L 数据交互描述、CCP 协议、KWP2000 协议,以及 HEX 标准存储格式等重要组件模块,实现了兼容多物理层和多协议层的发动机 ECU 标定系统。该系统在高压共轨柴油机及单体泵柴油机的开发过程中得到了成功应用,应用实践表明,该系统能够作为发动机标定开发中的重要工具。

关键词:CAN 标定协议;KWP2000 协议;ECU 标定;高压共轨柴油机

中图分类号:TK427

DOI:10.3969/j.issn.1004-132X.2012.02.016

Development of ECU Calibration System for Engine Based on ASAP

Zhuang Jihui Xie Hui Li Susu Zhu Zhongwen

State Key Laboratory of Engines, Tianjin University, Tianjin, 300072

Abstract: This paper presented an ECU (electronic control unit) calibration system for engine based on ASAP (arbeitskreis zur standardisierung von applikationssystem) architecture, which was applied to multiple physical layers and protocol layers. A2L data description interpreter and CCP, KWP2000 components were developed. The given calibration system was applied to the development of CR diesel engine and EUP (electronic unit pump) diesel engine successfully. The practice shows that this system is universal and reliable to different ECU which supported common protocol and can used as an important tool for engine calibration.

Key words: CAN calibration protocol (CCP); keyword protocol (KWP) 2000; ECU calibration; common rail (CR) diesel engine

0 引言

为了提高发动机的经济性,减少排放,电子控制技术和高压燃油喷射技术已经广泛应用于柴油机。发动机 MAP 数据的准确性和精确度将最终决定发动机的各种性能,最优的 MAP 是通过经过反复的标定试验才能够获取的。在标定过程中,需要实时监控柴油机的工作状态,根据状态参

数修改 MAP 中的数据,实时监控及 MAP 标定都是由标定系统完成的。设计和实现通用型的发动机标定系统对缩短发动机开发周期,降低开发成本具有重要意义。国外的相关 ECU 开发工具链提供商采用国际标准协议开发的通用型标定系统,能够对任何支持标准协议的电控单元进行标定,具备良好的适用性。ETAS 公司开发的 IN-CA^[1]以及 VECTOR 公司开发的 CANAPE 是目前使用最为广泛的发动机 ECU 标定系统。国内的研究院所针对具体应用开发了发动机标定软

收稿日期:2011—09—08

基金项目:国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2006AA110112)

Assigning Denavit - hartenberg Parameters [J]. IEEE Transactions on Robotics, 2007, 23 (3): 590-593.

[9] 李雄兵,杨岳,胡宏伟,等. 面向超声检测的曲面自动测量[J]. 中南大学学报(自然科学版),2010,41(1): 194-200.

[10] Li Zexiang, Gou Jianbo, Chu Yunxian. Geometric Algorithms for Workpiece Localization [J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1998, 14(6): 864-878.

[11] 严思杰,周云飞,彭芳瑜,等. 大型复杂曲面加工工件定位问题研究[J]. 中国机械工程,2003,14(9):

737-740.

[12] Menq C H, Yau H, Lai G. Automated Precision Measurement of Surface Profile in CAD-directed Inspection[J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1992, 8(2): 268-278.

(编辑 张 洋)

作者简介:胡宏伟,男,1980年生。长沙理工大学汽车与机械工程学院讲师。主要研究方向为自动化检测与信息处理。发表论文16篇。李雄兵,男,1977年生。中南大学 CAD/CAM 研究所副教授。倪培君,男,1965年生。中国兵器科学研究院宁波分院研究员。王向红,女,1977年生。长沙理工大学汽车与机械工程学院讲师。

件,但系统对不同电控单元硬件的依赖性较强,应对电控单元底层平台变更的能力不足。本文参考 ASAP 架构,开发了 ECU 数据描述解释模块、多协议层支持的标准通信模块,以及 ECU 标准存储格式等模块,形成了完整的发动机标定系统体系,实现了标定系统对多物理层(包括 K 线及 CAN 总线)以及多协议层(包括 KWP2000 协议及 CCP 协议)的良好支持。

1 ASAP 标准

ASAP(arbeitskreis zur standardisierung von applikationssystemen)工作组制定了目前广泛使用的标准化接口和通信协议。标准化接口的通信协议有利于实现不同汽车电控系统之间统一的数据交互。ASAP 定义了 ASAP1、ASAP2 和 ASAP3 标准,这三个标准构成了 ASAP 标准架构^[2-3],见图 1。

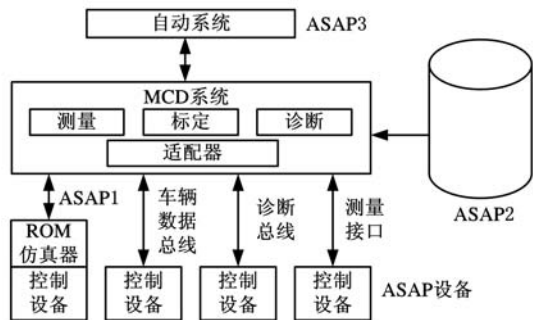


图 1 ASPA 标准架构

ASAP1 定义了 ASAP 控制设备和 MCD (measurement calibration diagnostic) 系统之间物理和逻辑连接的接口标准。

ASAP2 提供了不同控制设备之间的接口、测量数据、标定数据、数据存储格式、数据转换方法的规范化定义。控制设备的标准信息使用基于 XML 技术的 A2L(满足 ASAP2 规范的一种文件格式)文件描述。A2L 文件描述了控制设备内部数据的存储细节,实现了数据和应用的分离,有利于提高 MCD 系统的通用性。

ASAP3 作为 MCD 系统与用户应用层之间的接口,提供 MCD 系统的测量、标定和诊断等功能的标准化函数的调用。

ASAP 的 3 层体系是不同发动机电控系统之间实现通用接口的基本结构框架,通信接口的标准化是实现标定系统通用性的关键技术。其中,自动化系统通信接口的标准化、与不同控制设备之间通信接口的标准化、ECU 数据描述格式的标准化是 ASAP 架构的核心所在。

2 基于 ASAP 的系统框架及通用型模块设计

2.1 系统总体框架

为了满足标定系统与不同 ECU 之间的交互要求,整个标定系统软件框架遵循 ASAP 标准及其通信协议,采用分层式设计思想来进行设计。系统框架主要包括了标定层、诊断层、测量层、数据管理层、协议解释层、数据通信层,如图 2 所示。各功能层之间通过数据池进行数据交互,即各层之间只存在数据耦合,这使得整个架构具有充分的灵活性和可扩展性。

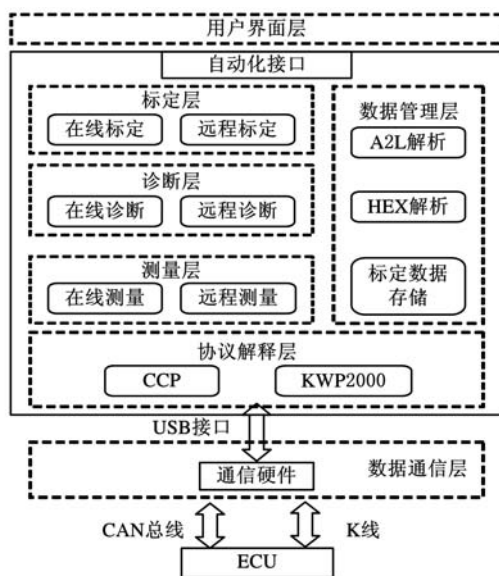


图 2 标定系统软件框架

用户界面层提供友好的人机交互,响应用户的各种操作。用户界面能够实时显示从 ECU 中获得的各种数据,其中包括监控数据、标定数据、诊断数据等。

数据管理层主要负责 A2L 描述文件和 HEX(符合 Intel HEX 的一种文件格式)数据文件的管理和维护。ECU 中存储的变量在 A2L 文件中进行了详细定义,实现了标定系统和 ECU 之间的相互独立。A2L 文件中的 ECU 相关变量包括监控变量、标定变量等,这些信息被提取出来保存到本地数据库。标定系统在数据库查找所需变量的信息,计算变量在 ECU 中的正确地址和长度,然后与 ECU 通信获取正确数据。ECU 传送给标定系统的变量数据只是数据在 ECU 内存中的表示格式,并不代表真实的物理量,需要使用 A2L 中定义的数据转换公式进行变换后才能得到正确的结果。

协议解释层将应用层的操作转换为相应的关键字命令以及解释 ECU 返回的关键字响应。标定系统发送通信协议关键字命令后,等待 ECU

返回响应数据,根据 ECU 的响应进行应答。在标定系统与 ECU 建立通信连接的过程中,标定系统经过协议解释层获得快速初始化指令相应的发送字节数据,并将发送字节提交给数据通信层,由数据通信层调用 USB 接口函数向总线发送数据。ECU 返回正响应数据,则表示已经接收并执行标定系统发送的关键字指令,标定系统根据应用层的要求完成下一关键字指令的操作;ECU 返回负响应,则表示 ECU 由于某些原因无法执行关键字指令,标定系统根据应用层的要求完成进一步的错误处理。

数据通信层用于管理 USB 设备以及数据的接收和发送。数据通信层采用缓冲队列机制来维护数据发送队列和数据接收队列。ECU 中的数据保存在工作页(RAM)和引用页(FLASH)中。ECU 初始化时,将标定数据从 FLASH 复制到 RAM 中。运行中,ECU 通过访问和使用 RAM 中的标定参数来对发动机进行控制,对 ECU 的标定就是访问和修改 RAM 的过程,调整 RAM 中的控制参数可以使发动机的控制能够立刻发生改变。标定参数的每次修改都被标定系统更新到 RAM 中。最后,标定系统将 RAM 中的数据再回写到 FLASH 中的相应位置,实现 ECU 数据的同步更新。

2.2 多物理层支持的通信硬件开发

通信单元是标定系统的重要组成部分,用于建立标定系统与 ECU 之间的物理通信链路,实现标定系统和 ECU 之间的指令传送,实时准确地完成监控标定功能。K 线和 CAN 总线作为现代汽车电子中常用的通信方式具有各自的特点。K 线主要用于故障诊断,通信代价比较低。CAN 总线的容错能力较强,通信速度更高,更适合测量与标定。通信单元必须兼顾通用性和扩展性以达到 K 线和 CAN 总线的多物理层支持。基于以上考虑,通信单元的硬件结构设计如图 3 所示。

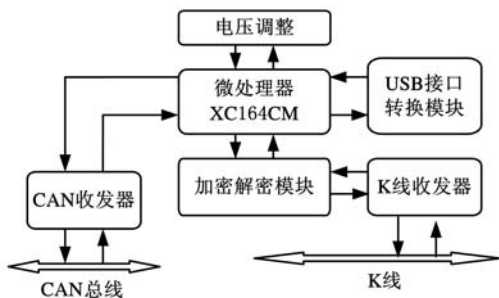


图 3 通信单元硬件结构

ECU 通信单元实现了标定系统上位机软件与 ECU 之间透明的数据交换。ECU 通信单元涉

及到多物理层之间的协议切换、通信时序控制等功能。本文将 Infineon C166 家族中的 XC164CM 作为主控芯片,该芯片采用了增强的 C166S V2 内核架构^[4],集成了具有 DSP 的运算处理能力、功能强大的外设以及高性能的片上 ROM/FLASH 内存。同时 XC164CM 配备了完善的网络通讯功能模块,具有 CAN、SPI、UART 等通讯接口。该处理器的高速计算能力及众多的通信资源为通信硬件的设计开发及以后的功能扩展打下了良好的基础。

K 线收发器和 CAN 收发器是该硬件设计中的关键模块,对 ECU 数据通信品质有直接的影响。本文采用 Infineon 公司的 TLE6258 作为 K 线串行链路总线驱动器,TLE6258 是专门为汽车应用设计的 LIN 总线收发器,它作为介于协议控制器和物理总线之间的接口,具有兼容性好、低功耗等特点。CAN 收发器采用 Infineon 公司的 TLE6250CAN 收发器,TLE6250 具有行业领先的静电保护和抗电磁干扰性。

2.3 CCP、KWP2000 协议层的实现

KWP2000 协议^[5-6]提供了完整的车载诊断服务,广泛应用于电控发动机故障诊断工具和 ECU 维修服务工具的开发。标定系统的主要功能是发动机状态监控、MAP 标定以及数据下载等,根据发动机标定的功能需求,本系统实现了包括诊断管理功能、数据传输功能、输入/输出控制功能组、ECU 函数远程启动功能组、数据上载/下载功能组在内的 KWP2000 协议子集。实现的关键诊断服务功能组见表 1。KWP2000 协议层的工作流程如图 4 所示。

表 1 KWP2000 功能组的通信关键字

诊断服务名称	请求值	正响应	负响应
开始通信	0x81	0xC1	0x7F
停止通信	0x82	0xC2	0x7F
以地址读取数据	0x23	0x63	0x7F
以地址写入数据	0x3D	0x7D	0x7F
以局部标识符读取数据	0x21	0x61	0x7F
定时参数设置	0x83	0xC3	0x7F
下载数据	0x34	0x74	0x7F
上传数据	0x35	0x75	0x7F
传输数据	0x36	0x76	0x7F
传输停止	0x37	0x77	0x7F
定义动态标识符	0x2C	0x6C	0x7F
以局部标识符写入数据	0x3B	0x7B	0x7F
启动诊断会话	0x10	0x50	0x7F
重启 ECU	0x11	0x51	0x7F
安全访问	0x27	0x67	0x7F
输入输出控制	0x30	0x70	0x7F
ECU 函数远程启动	0x31	0x71	0x7F
ECU 函数远程停止	0x32	0x72	0x7F

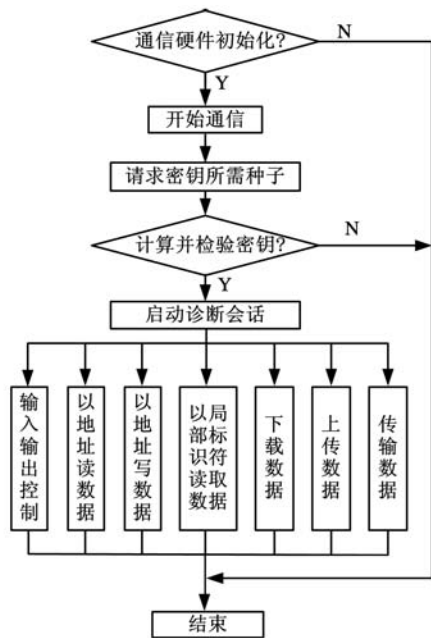


图 4 KWP2000 协议实现的主流程图

CCP(CAN calibration protocol)协议是一种基于 CAN 总线,满足车载电子系统匹配标定需求的通用型标定协议。该协议也是 ASAP 的重要组成部分之一,采用 CCP 协议能够实现对 ECU 的快速有效标定^[7-8]。因此,CCP 协议已经成为目前各种商用电控单元广泛支持的一种标定协议。CCP 协议属于主从式通信协议,标定系统作为通信主机,ECU 作为通信从机。CCP 支持一主多从式的通信方式,主机和从机之间通过会话方式传送实时数据。本文依据所需的 CCP 功能实现了 CCP 协议层,如图 5 所示。CCP 协议中包括的功能组如表 2 所示。

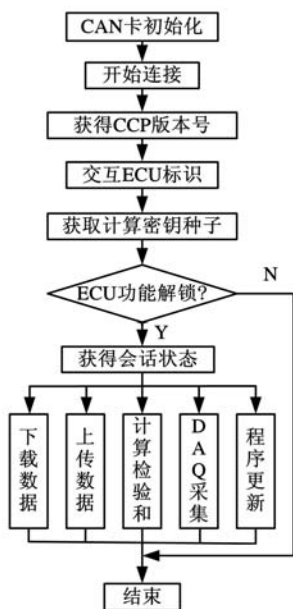


图 5 CCP 协议实现的主流程图

表 2 CCP 功能组

服务名称	服务代码
开始连接	0x01
获得 CCP 版本号	0x1B
交互 ECU 标识	0x17
获取计算密钥的种子	0x12
ECU 功能解锁	0x13
设定目标内存地址	0x02
下载数据—最多 5 字节	0x03
下载数据—固定长度 6 字节	0x23
上传数据—最多 5 字节	0x0F
上传数据—固定长度 6 字节	0x04
选择当前标定页	0x11
获得 DAQ 列表长度	0x14
设定 DAQ 列表中指定 ODT 的元素	0x15
设定 ODT 中元素指向的地址	0x16
开始/停止指定 DAQ 列表的采集	0x06
断开连接	0x07
获得当前会话信息	0x0C
设定当前会话信息	0x0D
计算指定内存区域的校验和	0x0E
清除指定内存区	0x10
FLASH 编程—最多 5 字节	0x18
FLASH 编程—固定长度 6 字节	0x22
从 MTA0(源地址)复制指定长度的数据到 MTA1(目标地址)	0x19
测试指定地址的从设备是否在线	0x05
获得当前激活的标定页	0x09
开始/停止全部 DAQ 列表的采集	0x08
故障诊断服务	0x20
其他服务	0x21

3 典型实际应用

标定系统根据 ECU 采集的各传感器和执行器的数据对不同工况点的控制 MAP 进行修改,能够在满足排放要求的前提下,达到更好的经济性。该发动机 ECU 标定系统已经成功应用于多种不同型号的柴机电控系统,其中包括采用 MPC561 单片机的 EDC7 高压共轨柴油机 ECU、采用 Tricore 单片机的 EDC17 高压共轨柴油机 ECU。标定系统用户主界面如图 6 所示,控制 MAP 数据以网格显示,用户可以修改网格中任意一点的数值,标定系统在后台将待修改数据转化为 ECU 识别的数据格式传送给 ECU,实现标定操作。系统实时反馈并显示发动机当前运行的工况点数据,为标定工作提供了更为直观有效的依据。发动机的各种传感器数据和执行器数据以及故障数据都可以从 ECU 中获取,所有测量数据可以选择数值和曲线方式进行显示,见图 7。应用该系统在潍柴 WP10 高压共轨柴油机上进行了全工况下的喷油提前角、共轨压力、喷油量的

