

基于多叉树和正则表达式的标定系统A2L文件的 解析管理方法

谢钊^{1,2}, 杨亚联^{1,2}, 刘昌东^{1,3}

- (1. 重庆大学 机械与运载工程学院, 重庆 400044;
2. 重庆大学 机械传动国家重点实验室, 重庆 400044;
3. 东风小康汽车有限公司, 重庆 402247)

摘要: 根据汽车标定系统A2L文件的定义规律, 设计了正则表达式匹配A2L文件关键信息, 利用类结构体和多叉树模型对A2L文件信息进行表示, 并对文件中不同的数据模块提出了对应的通用化解析流程。针对测量值可视化和标定值下载问题, 依据各种预定义类型和转换方法, 设计原始量-物理量的转换公式, 可为上位机软件提供转换工具。利用C#和窗体应用开发了A2L数据解析管理软件, 实现对解析结果的可视化管理和修改。采用了“高内聚低耦合”的软件设计模式和动态链接库(dll), 可进一步开发出测量标定软件。通过试验验证了所提出的A2L文件解析管理方法的有效性。

关键词: A2L; 正则表达式; 数据解析; 数据管理

中图分类号: TP391.1 文献标志码: A DOI: 10.3969/j.issn.2095-1469.2024.01.14

Analysis and Management Method of A2L File of Calibration System Based on Multi-Tree and Regular Expression

XIE Zhao^{1, 2}, YANG Yalian^{1, 2}, LIU Changdong^{1, 3}

- (1. College of Mechanical and Vehicle Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;
2. State Key Laboratory of Mechanical Transmission, Chongqing University, Chongqing 400044, China;
3. Dongfeng SOKON Automobile Co., Ltd., Chongqing 402247, China)

Abstract: According to the definition rule of A2L file in automobile calibration system, the regular expression is designed to match the internal key information of A2L file, and the information of A2L file is represented by class structure and multi-tree model. In addition, the corresponding general analysis flow is proposed for different data modules in the file. Aiming at the problems of measurement value visualization and calibration value download, the conversion formula of raw quantity to physical quantity is designed according to various predefined types and conversion methods, which can provide conversion tools for upper computer software. The A2L data analysis management software is developed by using C# and window applications to realize the visual management and modification of the analysis results. The software design pattern of “high cohesion and low coupling” and dynamic link library are used to further develop the

收稿日期: 2023-02-28 改稿日期: 2023-03-14

基金项目: 国家重点研发计划“政府间国际科技创新合作”项目(中韩)(2021YFE0193800)

参考文献引用格式:

谢钊, 杨亚联, 刘昌东. 基于多叉树和正则表达式的标定系统A2L文件的解析管理方法[J]. 汽车工程学报, 2024, 14(1): 135-143.

XIE Zhao, YANG Yalian, LIU Changdong. Analysis and Management Method of A2L File of Calibration System Based on Multi-Tree and Regular Expression[J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2024, 14(1): 135-143. (in Chinese)



measurement calibration software. Finally, the effectiveness of the proposed A2L file parsing method is verified by experiments.

Keywords: A2L; regular expression; data analysis; data management

随着汽车工业智能化和电子化的发展, 车辆电控单元 (ECU) 控制策略复杂度和 ECU 标定数据日益增大^[1], 参数调优和标定的难度也日益增加。研发者通过标定系统可监控修改优化参数^[2], 提高汽车性能。而标定系统通过 ECU 数据的关键信息 (如内存地址等) 完成标定, 所以对 ECU 数据文件的解析和管理非常重要。

A2L 数据文件规范由 ASAP 组织制定, 是标准的 ECU 数据文件, 也有采用 XML 格式作为协议的描述文件^[3]。此数据文件作为标定系统的数据基础, 有广泛的应用。例如, CANape 是德国 VECTOR 公司的一款成熟标定软件^[4], 其 ASAP2 Editor 提供了对 A2L 文件的显示、编辑、管理等功能, 但需要购买 VECTOR 硬件才能使用, 价格较昂贵。汪春华等^[5]使用 CANape, 解析管理 A2L 文件参数并擦写控制器, 优化了控制策略。胡艳青等^[6]基于数据记录文件 (Hex、A2L 文件等), 远程解析建立完整的控制器参数描述系统 (包括地址、数据类型、上下限等) 并远程优化。此外, 还用于参数优化和控制策略验证^[7-9]。周洋等^[10]对 A2L 文件标准模块解析进行了研究, 使用 map 容器存储解析信息, 但没有提供交互界面。蔡道萌等^[11]基于数据管理程序实现了柴油机参数采集, 但集中在功能实现, 专用性强移植性稍弱。DOU Qiao 等^[12]将文件解析作为 AMT 标定系统的集成子模块, 不利于对 A2L 数据进一步处理。

针对上述问题, 基于 ECU 数据管理的需要, 结合 ASAP 标准, 根据协议文件的内部结构, 抽象出协议模块, 设计了协议解析的正则表达式和相应的算法, 对 ECU 的测量、标定变量和转换方法等关键信息进行了解析, 并利用二叉树结构对其表示。同时, 为了便于对标定和测量值进行解析和观

察, 设计原始量与物理量的相互转换, 为用户自定义开发的上位机软件提供解析工具。基于 C# 和 winforms 应用设计和开发了 A2L 数据解析管理软件, 完成可视化设计和功能开发, 并能生成类库文件, 供用户二次开发的上位机软件所调用。最后进行试验, 测试所开发软件的功能, 进一步验证了所提出的解析方法的通用性、有效性。

1 ASAP 标准规范

1.1 ASAP-2 标准

ASAP 组织目的是将标定开发进行标准化^[13], 其中 ASAP 标准有三部分, 分别为 ASAP-1、ASAP-2 和 ASAP-3^[14], 如图 1 所示。ASAP-2 标准对 ECU 内部数据描述文件进行了规范化, 以 .a2l 后缀文件呈现^[15]。相对于 XML、Word 和自定义协议文件, 它的格式清晰, 便于阅读, 被 CANape、INCA、Matlab、Meca 等软件或平台采用, 是本文的主要研究对象。

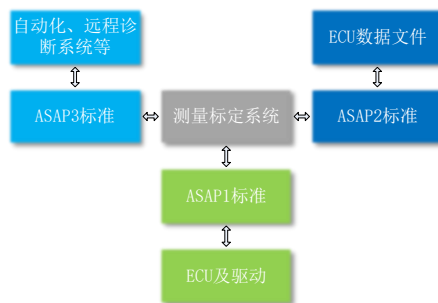


图 1 ASAP 标准构成

1.2 ASAP-2 文件结构分析

一个常见的 A2L 文件定义如图 2 所示。

比较重要的成员变量有: MOD_PAR (包含了管理 ECU 的数据, 例如 CPU 类型、内存分配方式等); MOD_COMMON (包含了大小端、数据的对齐方式等); RECORD_LAYOUT (包含了内存布局描述); CHARACTERISTIC (包含了标定变量的名称、地

址、长度、转换公式等信息)；MEASUREMENT (包含了测量变量的名称、地址、长度、转换公式等信息)；COMPU_METHOD (包含了原始量和物理量的转换关系)^[16]。

```

/begin PROJECT /*表示一个项目*/
/begin HEADER /*描述项目信息, 项目版本等信息*/
/end HEADER

/begin MODULE /*描述ECU的所有信息, 一个ECU对应一个MODULE块*/
/begin MOD_PAR .../end MOD_PAR
/begin MOD_COMMON .../end MOD_COMMON
/begin RECORD_LAYOUT .../end RECORD_LAYOUT
/begin CHARACTERISTIC .../end CHARACTERISTIC
/begin MEASUREMENT .../end MEASUREMENT
/begin COMPU_METHOD .../end COMPU_METHOD
/begin COMPU_VTAB .../end COMPU_VTAB
/begin GROUPS .../end GROUPS
/begin FUNCTION .../end FUNCTION
/begin AXIS_PTS .../end AXIS_PTS
...
/end MODULE
/end PROJECT

```

图2 A2L 文件定义

ECU 内部数据模块中最关键的是测量变量和标定变量，其具体细节还与其他模块有关 (COMPU_METHOD 和 RECORD_LAYOUT 等)。上述文件结构分析是设计 A2L 协议文件解析方法的基础。

2 A2L 文件解析的正则表达式匹配和流程

A2L 文件含有 “/” “/*” “\t”、空格等多种字符，并且其内部信息复杂，所以需要针对不同的信息模块来设计专门的解析方法。考虑到正则表达式在匹配字符串的方便性和可操作性，所以使用它来进行文件解析。例如，针对 MEASUREMENT、CHARACTERISTIC、COMPU_METHOD、RECORD_LAYOUT，设计对应的正则表达式：

```
Regex mea = new Regex ("/begin [\s]
MEASUREMENT[\s\S]*?/end[\s]MEASUREMENT");
```

```
Regex cal = new Regex ("/begin [\s] CHARACTE
RISTIC[\s\S]*?/end[\s]CHARACTERISTIC");
```

```
Regex c_m = new Regex ("/begin [\s] COMPU_
METHOD[\s\S]*?/end[\s]COMPU_METHOD");
```

```
Regex r_layout = new Regex ("/begin [\s]
RECORD_LAYOUT[\s](.*)");
```

针对通用文件操作，首先需要对 A2L 文件进行

读取。Windows 窗体的 OpenFileDialog 组件是一个预先配置的对话框。在基于 Windows 系统的应用程序中，该组件可以实现文件的选择、打开、退出、过滤等功能。

文件解析总体流程如图 3 所示。首先打开 A2L 文件，读取文件内容，再利用上述正则表达式进行关键词匹配，判断信息模块描述的是 CHARACTERISTIC、MEASUREMENT、COMPU_METHOD 或 RECORD_LAYOUT 等，进入模块独立的解析方法，采用字符分割获取模块内部描述的属性值，最后创建对象实例并存储。然后循环读取文件，直至到达文件末尾。

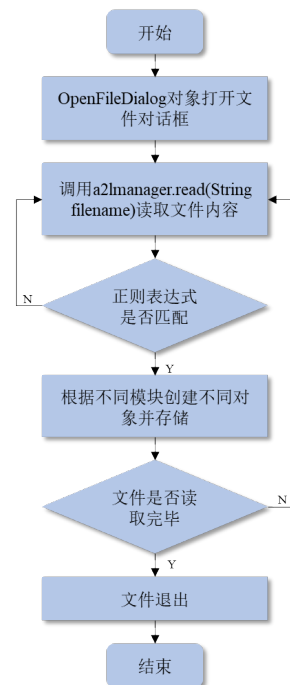


图3 文件通用解析总体流程

为了便于计算机对 A2L 文件模块进行描述，通过多叉树结构进行表示，得到多叉树结构模型，对模块对象进行管理，如图 4 所示。

3 A2L 数据解析管理软件设计研究

设计基于 ASAP 标准的 A2L 数据解析管理软件的目的是对文件的内部信息获取并解析，使系统研发流程大大优化，为标定上位机开发提供基础。将 A2L 文件解析和管理与标定上位机系统解耦，可以

使标定上位机系统更关注于自身设计，同时，也提高了 A2L 数据解析管理软件的扩展性。利用 C# 语言开发运行在 .NET 框架之下的程序可以在 Windows 系统下使用，所以本文基于 C# 语言和 Winforms 窗体应用程序进行 A2L 数据解析管理软件开发。

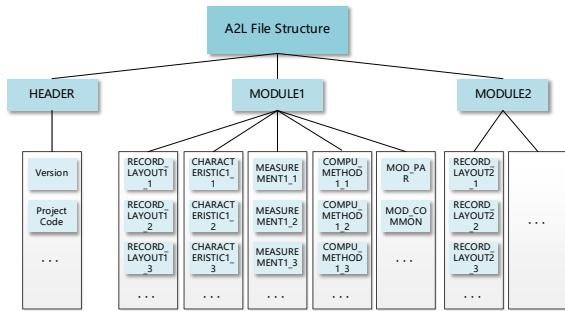


图 4 多叉树模型

3.1 主界面与功能设计

首先，主窗体 A2LManager 作为主界面，如图 5 所示，包括 5 个部分：MenuStrip 菜单栏、Tool 工具栏、TreeView 树控件、Grid 表格控件和 StatusStrip 状态栏。菜单栏中的“文件”下的二级菜单为“打开 A2L 文件”“退出 A2L 文件”“保存”等；左侧的 TreeView 树控件展示各个模块解析后的内容，主要包括测量变量、标定变量、转换方法和内存布局等信息。

右边是表格控件，主要用来显示用户在树形控件中选中某一项之后的详细信息。此外，还有右键单击事件，会弹出对话框用来对参数进行修改或删除，并同步到 A2L 文件中。

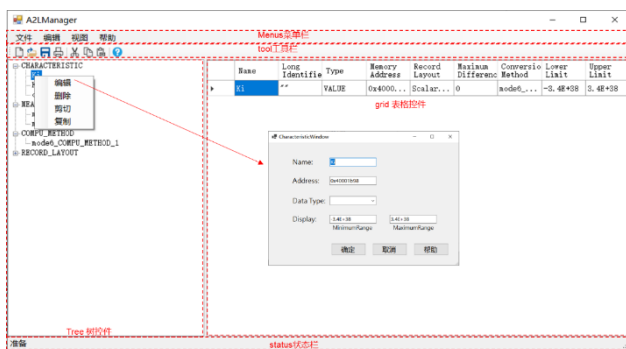


图 5 主界面设计

3.2 标定和测量变量解析

ECU 内部数据单元解析是 A2L 数据管理软件解

析的重要部分。由上文可知，ECU 内部数据是按照模块来划分的，所以需要通过分模块的方式来提取和解析其参数。在 A2L 文件中部分模块的信息较多，尤其是 MEASUREMENT（测量变量）和 CHARACTERISTIC（标定变量，见表 1），根据上述 A2L 文件的定义，需要利用 C# 语言的面向对象特性，抽象并设计成员类及特征属性。

类设计包括类的字段、属性和方法，对应于文件描述中的相应字段。在 A2L 文件中，同一个类的对象一般会有许多个，不同类都有自己的构造方法完成对自身实例对象的初始化。

表 1 A2L 文件中的某标定变量描述表

属性名	属性值
Name	Ki
Long Identifier	Null
Type	VALUE
Memory Address	0x40001b98
Record Layout	Scalar_FLOAT32_IEEE
Maximum Difference	0
Conversion Method	COMPU_METHOD_1
Lower Limit	-3.4E+38
Upper Limit	3.4E+38

为了便于解析各个模块，设计一个工具类 A2LManager.cs 来专门处理解析的任务，包括文件读取、解析处理及缓存、查询等方法，从而将解析工作和类的设计解耦，大大提高程序运行效率。

在 A2L 文件中，通常会有许多变量，所以需要使用合适的数据结构来缓存它们，方便快速查询。C# 中有多种数据结构，其中 List<E> 适合处理元素个数不确定的情况，还可以确保类型安全，且利于快速访问，所以利用它来保存所有解析出的变量。为了便于获取变量信息，本文设计相应的方法来查询和访问变量，方法定义为：

Characteristic FindCharacteristicByName (string name);

Measurement FindMeasurementByName (string name);

其中，方法都是通过指定名称来获取指定的类对象信息，这样可以避免频繁的文件读取操作，降低系统 IO，提高效率。

3.3 转换方法和内存布局解析

上述 MEASUREMENT 和 CHARACTERISTIC 的解析可以获取 ECU 参数的常用信息，而其具体内容，会关联到 A2L 文件中的其他信息。例如，COMPU_METHOD（转换方法）对应于 Conversion method，RECORD_LAYOUT（内存布局）对应于 Data Type 等。通过内存布局和转换方法就可以确定标定或测量变量的原始量与物理量转换方式，所以需要 COMPU_METHOD 和 RECORD_LAYOUT 进行解析。

同样，分析 A2L 文件中 COMPU_METHOD 和 RECORD_LAYOUT 的描述，见表 2 和表 3，重要信息有 Conversion Type 和 Coefficients 等，参照 A2L 文件预定义类型来提取。利用对象抽象化思想，设计相应的类来完成属性封装。

表 2 A2L 文件中的某转换方法描述表

属性名	属性值
CompuMethod	mode6_COMPU_METHOD_1
Long Identifier	"Q = V"
Conversion Type	RAT_FUNC
Format	"%8.6"
Units	Null
Coefficients	COEFFS 0 1 0 0 0 1

表 3 A2L 文件中的内存布局描述表

属性名	属性值
Name	Scalar_BOOLEAN
Position	1
DataType	UBYTE
IndexMode	COLUMN_DIR
AddressType	DIRECT

3.4 原始量与物理量的相互转换

对 ECU 的测量值进行可视化需要将原始量转换为物理量，为了将标定值下载需要将物理量转换

为原始量，所以研究 A2L 文件的数据类型转换方式非常重要。

通过上文提取的重要信息 COMPU_METHOD 的 Conversion Type 和 RECORD_LAYOUT 的 DataType 等，可以进行下一步的转换。原始量与物理量的转换交给一个静态工具来完成，实现程序解耦，其包括原始量转物理量方法 ConvertToPhy () 和物理量转原始量方法 ConvertToHex ()。它们会根据缓存中的标定（测量）对象获取其属性（内存布局），与预定义的内存布局类型表进行匹配，匹配成功则进行一次转换，不成功则返回错误码。内存布局类型与描述见表 4。

表 4 A2L 文件的内存布局类型表

内存布局类型	描述
UBYTE	1 字节无符号整型
SBYTE	1 字节有符号整型
UWORD	2 字节无符号整型
SWORD	2 字节有符号整型
ULONG	4 字节无符号整型
SLONG	4 字节有符号整型
A_UINT64	8 字节无符号整型
A_INT64	8 字节有符号整型
FLOAT32_IEEE	4 字节浮点型
FLOAT64_IEEE	8 字节浮点型

利用 FindCompu_methodByName () 方法得到转换方法对象，判断与 A2L 文件标准的 6 种转换方法是否匹配，匹配成功就进行相应的二次（逆）转换并得到最终结果，否则返回错误码。以上过程包括原始量与物理量的互相转换。6 种转换方法中的 TAB_INTP、TAB_NOINTP 需要查数值表，IDENTICAL、RAT_FUNC、LINEAR、FORM 类型根据 ASAP 标准设计了原始量转物理量公式。其中 result 表示转换结果，input 表示原始量（若为物理量转换为原始量，则使用逆转换表达式，a、b、c 等取值依据上述转换方法模块中的 Coefficients）。

$$result = input。 \quad (1)$$

$$\text{result} = \frac{a \times \text{input}^2 + b \times \text{input} + c}{d \times \text{input}^2 + e \times \text{input} + f} \quad (2)$$

$$\text{result} = a \times \text{input} + b \quad (3)$$

$$\text{result} = f(\text{input}) \quad (4)$$

原始量与物理量的转换为以后进一步开发测量标定软件提供了转换工具,使其可以以调用函数类库的方式进行数据转换,实现软件解耦。

3.5 文件编辑修改功能

通过 CharacteristicWindow、MeasurementWindow、Compu_MethodWindow 等窗体应用程序实现 Characteristic、Measurement、Compu_Method 等对象的编辑修改。图 6 为标定变量的修改界面,可对名称、地址、可视化的上下限进行自定义设置,方便使用者快速调整。

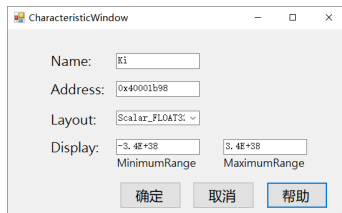
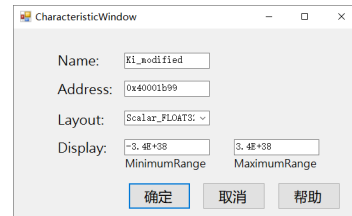


图 6 编辑修改界面

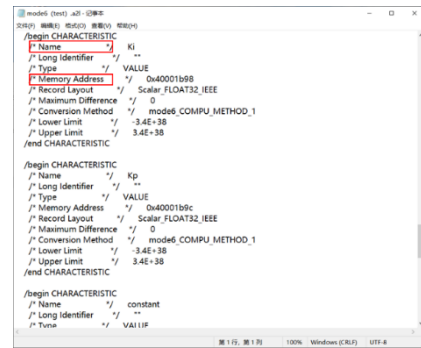
通过 XxxWindow (Form1 parentForm, bool isEditing, Xxx xxx, string path) 构造器初始化窗体应用程序,根据传入参数 Xxx 生成对应的窗体(共 3 种);然后使用 Dictionary 存储结构进行键值存储,方便快速映射查询修改值;通过上文解析和对象关联操作后,后端程序会自动生成 A2L 文件的多叉树结构。当点击“确定”按钮后,程序依据多叉树的 BFS (广度搜索算法)或 DFS (深度搜索算法)对其遍历,最后通过定位数据模块和字符串替换来完成文件的修改功能。图 7a 为编辑修改框,对 Name 和 Address 属性进行修改并保存文件,图 7b 和 c 分别为改前与改后的相应文件,作为展示仅修改红框所示属性。

4 测试验证

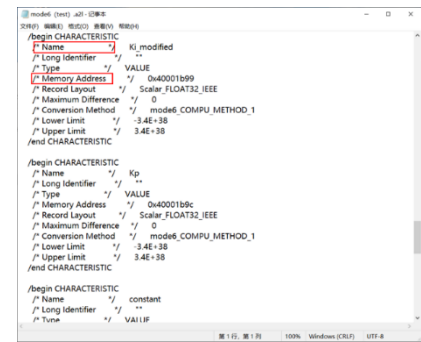
A2L 数据管理软件测试包括 ECU 参数(测量量、标定量、转换方法、内存布局等)解析和原始



(a)



(b)



(c)

图 7 A2L 文件修改前后对比

量与物理量转换解析测试。ECUCoder 是基于 Matlab/Simulink 的全自动代码生成工具,用于配置 ECU 控制算法模型与基础软件模型,并自动生成 ECU 代码。因此,可以使用其 Simulink 模型库自动生成 ASAP-2 标准的 A2L 文件。A2L 测试文件定义有 3 个标定量 Ki、Kp、constant,两个测量量 mea1、mea_constant,转换方法 mode6_COMPU_METHOD_1。

解析可视化结果如图 8 所示,将标定变量、测量变量、转换方法等关键信息进行可视化,并提供了交互操作。将解析结果与图 9 所示的 A2L 原始文件进行比较,结果完全一致,从而验证了正则表达式解析算法的通用性和有效性,以及多叉树模型的正确性。

针对原始量与物理量的相互转换,设计相应的

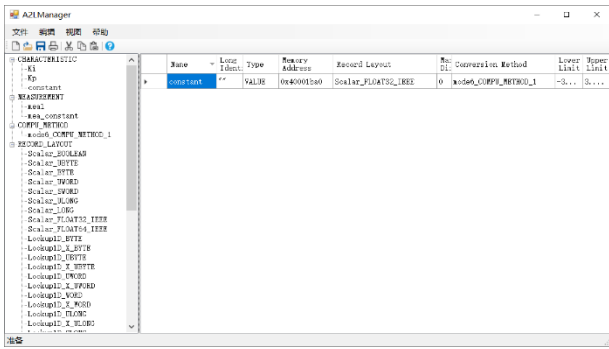


图 8 解析可视化结果

```

//begin CHARACTERISTIC
/* Name */ E1
/* Long identifier */ **
/* Type */ VALUE
/* Memory Address */ 0x40001b80
/* Record Layout */ Scalar_FLOAT32_IEEE
/* Maximum Difference */ 0
/* Conversion Method */ mode6_COMPU_METHOD_1
/* Lower Limit */ -3.4E+38
/* Upper Limit */ 3.4E+38
//end CHARACTERISTIC

//begin MEASUREMENT
/* Name */ mea1
/* Long identifier */ **
/* Data type */ FLOAT32_IEEE
/* Conversion method */ mode6_COMPU_METHOD_1
/* Resolution (Not used) */ 0
/* Accuracy (Not used) */ 0
/* Lower limit */ -3.4E+38
/* Upper limit */ 3.4E+38
/* ECU_ADDRESS */ 0x40001b8c
//end MEASUREMENT

//begin CHARACTERISTIC
/* Name */ E0
/* Long identifier */ **
/* Type */ VALUE
/* Memory Address */ 0x40001b8c
/* Record Layout */ Scalar_FLOAT32_IEEE
/* Maximum Difference */ 0
/* Conversion Method */ mode6_COMPU_METHOD_1
/* Lower Limit */ -3.4E+38
/* Upper Limit */ 3.4E+38
//end CHARACTERISTIC

//begin MEASUREMENT
/* Name */ mea_constant
/* Long identifier */ **
/* Data type */ FLOAT32_IEEE
/* Conversion method */ mode6_COMPU_METHOD_1
/* Resolution (Not used) */ 0
/* Accuracy (Not used) */ 0
/* Lower limit */ -3.4E+38
/* Upper limit */ 3.4E+38
/* ECU_ADDRESS */ 0x40001b88
//end MEASUREMENT

//begin CHARACTERISTIC
/* Name */ constant
/* Long identifier */ **
/* Type */ VALUE
/* Memory Address */ 0x40001b80
/* Record Layout */ Scalar_FLOAT32_IEEE
/* Maximum Difference */ 0
/* Conversion Method */ mode6_COMPU_METHOD_1
/* Lower Limit */ -3.4E+38
/* Upper Limit */ 3.4E+38
//end CHARACTERISTIC

//begin COMPU_METHOD
/* Name of CompuMethod */ mode6_COMPU_METHOD_1
/* Long identifier */ "Q = v"
/* Conversion Type */ RAT_FUNC
/* Format */ "%f"
/* Units */ **
/* Coefficients */ COEFFS 0 1 0 0 1

```

图 9 源文件

测试用例，见表 5，其中原始量为 CAN 数据报文大端表示方式。并设计相应的测试代码，如图 10 所示。

表 5 原始量与物理量转换测试结果

转换方法类型	逆转换输入值	逆转换结果	正转换输入值	正转换结果
RAT_FUNC	3 000.0	453B8000	41 200 000	10
LINEAR	26.0	40A00000	41 200 000	51
IDENTICAL	26.0	41D00000	41 200 000	10

```

//测试代码,原始量与物理量的相互转化
TestConversion.ConvertToPhys("Scalar_FLOAT32_IEEE", "41200000", new Compu_method(null, null, "RAT_FUNC", null, null, "COEFFS 0 1 0 0 1"));
TestConversion.ConvertToHex("Scalar_FLOAT32_IEEE", "3000.0", new Compu_method(null, null, "RAT_FUNC", null, null, "COEFFS 0 1 0 0 1"));

//测试原始量与物理量的相互转化
TestConversion.ConvertToPhys("Scalar_FLOAT32_IEEE", "41200000", new Compu_method(null, null, "LINEAR", null, null, "COEFFS 5 1"));
TestConversion.ConvertToHex("Scalar_FLOAT32_IEEE", "26.0", new Compu_method(null, null, "LINEAR", null, null, "COEFFS 5 1"));

//测试原始量与物理量的相互转化
TestConversion.ConvertToPhys("Scalar_FLOAT32_IEEE", "41200000", new Compu_method(null, null, "IDENTICAL", null, null, null));
TestConversion.ConvertToHex("Scalar_FLOAT32_IEEE", "26.0", new Compu_method(null, null, "IDENTICAL", null, null, null));

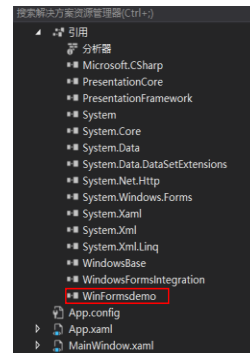
```

图 10 原始量与物理量的转换测试代码

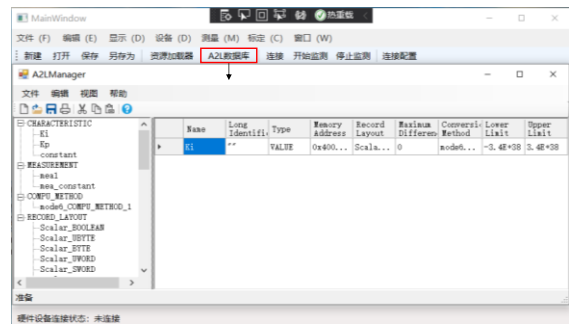
原始量与物理量转换测试涉及 3 个方法：原始量转换为数值物理量、原始量转换为字符串物理量

和物理量转换为原始量。其中，转换方法类型与 3.4 节对应，变量等参考 COEFFS。测试结果表明，正逆转换的结果与预期结果一致，从而验证了转换方法的有效性，扩展了解析功能，为用户自定义开发的上位机提供转换工具。

A2L 数据管理软件采用“高内聚低耦合”的软件设计模式，可与二次开发的测量标上位机软件解耦，有利于对 A2L 文件进行解释和管理，便于进行数据信息的深层挖掘和功能扩展，生成相应的 dll 类库供用户自定义开发的应用程序调用。例如，在 WPF 应用程序中需要在“引用”结构体中导入数据解析管理软件的 dll 文件，如图 11a 红框所示；在 WPF 应用程序中调用数据解析管理软件类库，测试结果如图 11b 所示，通过点击工具栏按钮表明可以实现解析模块和转换模块功能，验证了 dll 动态链接功能。此外，还能在其他编程语言的应用程序开发过程中调用此类库。基于此，不仅简化测量标上位机软件代码，而且还可以对数据管理软件程序进行重构，拓展新的函数，极大地提高了可维护性和可移植性。



(a)



(b)

图 11 类库引入及测试结果

5 结论

1) 对A2L文件的描述规律进行分析总结,提出了不同数据模块的通用解析方法。设计了对应的正则表达式来匹配解析数据模块,所提出的类结构体和多叉树模型可以对A2L文件进行管理和表示。

2) 采用软件解耦的方式开发了A2L数据解析管理软件,可视化解析结果并提供修改功能,提高了可移植性。设计了原始量-物理量相互转换工具,

扩展了解析功能,解决了测量值可视化等问题,可被上位机软件调用。基于生成的dll库可被其他语言应用程序调用,方便程序扩展和重构。

3) 通过试验验证了所开发的软件对ASAP-2标准制定出的ECU参数文件的通用解析流程的有效性和转换方法的准确性,为标定软件的二次开发奠定了良好的基础,有较好的实用价值。

参考文献 (References)

- [1] 陈慧勇,梁伟智,刘志伟,等.混合动力重卡标定参数工况适应性[J].科学技术与工程,2021,21(8):3353-3358.
CHEN Huiyong, LIANG Weizhi, LIU Zhiwei, et al. Adaptability of Calibration Parameters of Hybrid Heavy Trucks to Working Conditions [J]. Science, Technology and Engineering, 2021, 21(8): 3353-3358. (in Chinese)
- [2] CHEN Ying. Research on Programmable Controller of Construction Machinery Based on Embedded System and Cloud Computing [J]. Microprocessors and Microsystems, 2021, 82: 103902.
- [3] 黄赛杰,徐敏,郑小鹿,等.动力电池充放电检测系统的设计与实现[J].储能科学与技术,2019,8(1):146-154.
HUANG Saijie, XU Min, ZHENG Xiaolu, et al. Design and Implementation of Power Battery Charge and Discharge Detection System [J]. Energy Storage Science and Technology, 2019, 8(1): 146-154. (in Chinese)
- [4] VECTOR. CANape-Measuring, Calibrating, Diagnosing and Flashing ECUs [EB/OL]. [2018-02-24] https://vector.com/vi_canape_en.html.
- [5] 汪春华,刘洪飞,白稳峰,等.基于CCP协议的纯电动车整车控制器标定研究[J].汽车工程,2020,42(3):286-291.
WANG Chunhua, LIU Hongfei, BAI Wenfeng, et al. Research on Calibration of Pure Electric Vehicle Controller Based on CCP Protocol [J]. Automotive Engineering, 2020, 42(3): 286-291. (in Chinese)
- [6] 胡艳青,闫斌,杨林.基于CCP协议的混合动力公交车远程优化系统研究[J].汽车技术,2015(7):56-61.
HU Yanqing, YAN Bin, YANG Lin. Research on Remote Optimization System of Hybrid Electric Bus Based on CCP Protocol [J]. Automotive Technology, 2015(7): 56-61. (in Chinese)
- [7] PARK S, KIM Y, WOO S, et al. Optimization and Calibration Strategy Using Design of Experiment for a Diesel Engine [J]. Applied Thermal Engineering, 2017, 123: 917-928.
- [8] LI Shenglong, LIANG Weizhi, JIA Shuang, et al. Optimization Method of Calibration Parameters for Hybrid Electric Vehicle [C]// 2021 33rd Chinese Control and Decision Conference (CCDC), May 22-24, 2021, Kunming, China. Piscataway NJ: IEEE, c2021: 1385-1390.
- [9] YI Lu, HE Hongwen, PENG Jiankun. Hardware-in-Loop Simulation for the Energy Management System Development of a Plug-in Hybrid Electric Bus [J]. Energy Procedia, 2016, 88: 950-956.
- [10] 周洋. 发动机标定数据管理系统开发 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.
ZHOU Yang. Development of Engine Calibration Data Management System [D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2013. (in Chinese)
- [11] 蔡道萌,苗春晖,曹伟,等.基于CCP协议的大功率高压共轨柴油机安全控制系统设计[J].船舶工程,2017,39(4):75-78,82.
CAI Daomeng, MIAO Chunhui, CAO Wei, et al. Design of Safety Control System for High Power and High Pressure Common Rail Diesel Engine Based on CCP Protocol [J]. Ship Engineering, 2017, 39(4): 75-78, 82. (in Chinese)

- [12] DOU Qiao, CHU Na. Development of AMT Calibration System Based on CAN Bus and CCP Protocol [C]//2019 International Conference on Robots & Intelligent System (ICRIS), June 15–16, 2019, Haikou, China. Piscataway NJ:IEEE, c2019:228–230.
- [13] LI Xiaoteng, XIE Hui, WANG Jian, et al. Development of Remote Monitoring and Calibration System for Unmanned Roller Based on Digital Radio [C]// 2019 International Conference on Advances in Construction Machinery and Vehicle Engineering (ICACMVE), May 14–16, 2019, Changsha, China. Piscataway NJ:IEEE, c2019:196–200.
- [14] DESHPANDE U U, DESHPANDE P P, GADI A A, et al. Data Acquisition and Calibration of ECU Using CAN Protocol [J]. International Journal of All Research Education and Scientific Methods (IJARESM), 2021, 9: 2942–2950.
- [15] 郑宜坤. 基于 CCP 协议的车用远程数据采集系统设计与应用 [D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
ZHENG Yikun. Design and Application of Vehicle Remote Data Acquisition System Based on CCP Protocol [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018. (in Chinese)
- [16] 任银行. 基于 XCP 协议的通用型 ECU 标定系统研究与设计 [D]. 上海: 上海交通大学, 2018.
REN Yinhang. Research and Design of Universal ECU Calibration System Based on XCP Protocol [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2018. (in Chinese)

作者简介



谢钊 (1997–), 男, 四川自贡人, 硕士研究生, 主要研究方向为汽车电子和车联网。

Tel: 18356500825

E-mail: zhao_beyond@163.com

通信作者



杨亚联 (1972–), 男, 贵州思南人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为动力传动及控制、汽车电子和车联网。

Tel: 17783619703

E-mail: yyl@cqu.edu.cn