

基于 XML 描述的动态可扩展数据报文的模型构建方法

李智

(中国电子科技集团公司 第十研究所信息中心, 成都 610036)

摘要: 通过分析航空、通信、航天等领域综合电子项目中常规总线数据报文, 以及动态可扩展数据报文, 归纳出数据报文结构特点, 研究了适应动态可扩展数据报文的描述模型, 并给出基于 XML 语言对动态可扩展数据报文模型的实现方法; 通过该方法解决了动态可扩展数据报文难以统一描述问题, 可实现软件代码与接口定义的解耦; 解决了因接口变更导致修改软件代码的问题, 可提高软件代码的通用性和适应性; 该方法设计的总线接口测试软件已在多个型号工程的中应用, 可达到在不修改软件代码的情况下, 配置多种类型的常规数据报文或动态可扩展数据报文进行数据总线通信。

关键词: 常规数据报文; 动态可扩展数据报文; 信息单元; XML 语言

Model Construction Method of Dynamic Extensible Data Packet Based on XML Description

Li Zhi

(Information Center, Department of CETC10, Chengdu 610036, China)

Abstract: By analyzing the conventional bus data message and dynamic scalable data message in integrated electronic projects in the fields of aviation, communication and aerospace, the structure characteristics of data message are summarized, the description model adapting to dynamic scalable data message is studied, and the implementer of dynamic scalable data message model based on XML language is given. This method solves the problem that dynamic scalable data packets are difficult to describe uniformly, and decouples software code from interface definition. It solves the problem of modifying software code due to interface changes, and improves the universality and adaptability of software code. The bus interface test software designed by this method has been applied in many types of projects. It can be used to configure various types of conventional data messages or dynamic scalable data messages for data bus communication without modifying the software code.

Keywords: conventional data message; dynamic scalable data message; information unit; XML language

0 引言

在航空、通讯、航天等综合电子系统中数据总线接口格式差异较大, 如: 端序方面即有大端序, 也有小端序的接口格式; 长度方面既存在长度固定的接口定义, 又存在长度动态变化的定义。因此, 为了匹配不同设备的接口, 控制类、接口类、测试类等应用软件代码需要定义较多类型接口。当某一设备接口发生变化后, 需要修改软件代码, 从而导致软件适应性以及通用性降低。如果软件代码与接口设计解耦, 可降低软件因接口变更的代码修改, 提升软件的适应性和通用性^[1]。本文提出基于 XML 语言统一描述多类型并适用动态可扩展接口的方法, 全文首先分析了常规数据报文、动态可扩展数据报文结构, 然后提出了适应动态可扩展报文的模型, 最后给出了基于 XML 语言对动态可扩展报文的模型的实现方法。

1 数据报文结构分析

1.1 常规数据报文

常规数据报文一般由帧头、长度、数据类型、数据内容、校验位、帧尾等结构组成(如图 1 所示)。接收系统根据帧头、长度或帧尾接收完整的数据帧, 并通过校验位判断接收的数据是否正确, 校验类型包括奇偶校验、异或校验及循环校验等。接收系统根据数据报文中的数据内容调用对应的计算逻辑, 将数据报文中的数据内容作为计算逻辑的输入^[2-3]。

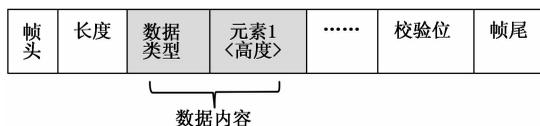


图 1 常规数据报文结构

常规数据报文中具体的数据类型确定了报文的长度, 以及数据内容区所携带的信息种类, 因此, 数据报文的封装和解析逻辑较简单, 但一帧数据所携带的信息相对较少, 可扩展性和适应性较差^[4-5]。

收稿日期: 2019-09-09; 修回日期: 2019-10-11。

作者简介: 李智(1983-), 男, 四川成都人, 硕士, 高级工程师, 主要从事综合化电子信息系统软件评测以及软件工程化方向的研究。

1.2 动态可扩展数据报文

为适应复杂综合电子系统信息量大、灵活扩展等需求，出现大量动态可扩展数据报文的设计，具体表现为：一帧数据携带较多信息种类，并且数据种类可动态增减。

例如某信号分析系统，信号处理设备向频谱处理软件输出信号处理结果，数据帧除携带信号频率、带宽、幅度等参数外，可选择携带频谱数据、信号结果数据等，其数据报文结构如图 2 所示。当主帧功能项的值为“0001H”，数据内容中附加频谱数据子帧，为“0000H”不附加该频谱数据子帧。当频谱子帧中扩展标志为 1 时嵌套接收机频谱特性子子帧，为 0 则不嵌套。

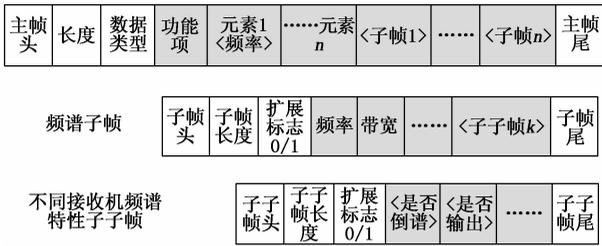


图 2 动态可扩展数据报文

1.3 常规和动态可扩展数据报文分析

通过对常规数据报文、动态可扩展数据报文分析发现，数据报文具有以下特性：

1) 数据报文具有可逐层分解到基本单元的特性：无论是常规数据报文，还是动态可扩展数据报文，均具有可逐层分解到基本信息单元的特性，如：图 1 惯导数据分解为高度、角速度、加速度等信息，形成基本的信息单元存放于惯导数据报文；图 2 信号处理结果报文可分解为频率信息单元、频谱子帧等，频谱子帧可继续分解为频率、带宽等基本信息单元。

2) 基本信息单元具有应用信息表达或报文结构表达作用：应用信息用于物理信号量、系统参数等数据表达，如图 1 数据报文中的元素 1 信息单元表示高度物理量。信息单元结构信息用于数据报文结构的逻辑控制，如图 1 帧头、帧尾、数据长度、校验值等，该部分结构信息用于接收系统根据帧头、长度或帧尾接收完整的数据帧，并通过校验位判断接收的数据是否正确。报文结构表达主要实现发送系统和接收系统之间如何编译和解译信息。

3) 动态可扩展数据报文中结构表达类型增多：动态可扩展数据报文为适应报文长度变化，增加了数据结构表达的信息，如：图 2 信号处理结果中功能项用于确定是否附加频谱数据子帧，频谱子帧中扩展标识用于确定是否附加接收机频谱特性子子帧。

2 构建适应动态可扩展报文的模型

常规数据报文可一次分解到基本信息单元。动态可扩展数据报文在主帧中包含子帧，甚至子帧继续嵌套子帧，通过逐级分解，仍然可分解到基本信息单元。因此，根据可逐级分解的特点，可将数据报文形式化为树形模型，如

图 3 所示。

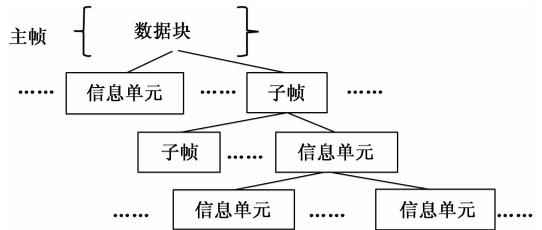


图 3 适应动态可扩展报文的模型

信息单元具有应用信息表达或报文结构表达作用的特性。通过分析大量采用动态可扩展报文的项目，发现表达结构信息的信息单元越多，报文结构形式越多。进一步分析结构信息表达的逻辑与报文动态扩展形式的关系，发现其逻辑控制类型可归纳为 4 类：选择控制、位开关控制、循环控制、占位链接控制等 4 种。

综上所述，如图 4 所示，基本信息单元可归纳为应用信息和结构信息两大类，结构信息可分为帧结构信息和逻辑控制信息。其中，逻辑控制信息包括：选择控制、位开关控制、循环控制、占位链接控制等，各类控制定义和扩展方式如下：

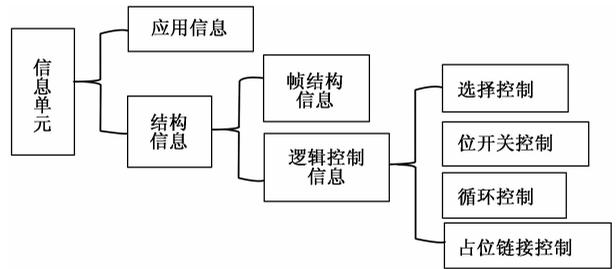


图 4 基本信息单元分类归纳

2.1 选择控制

选择控制是指数据报文中所附加的子帧由逻辑控制信息单元的数值确定，即每一个数值对应一种具体的子帧。例如图 5 所示，主帧中功能项即为选择控制信息单元，当功能项值为 1 时，主帧动态扩展子帧 1；当功能项值为 2 时，主帧动态扩展子帧 2；图 5 当功能项值为 n 时，主帧动态扩展子帧 n。

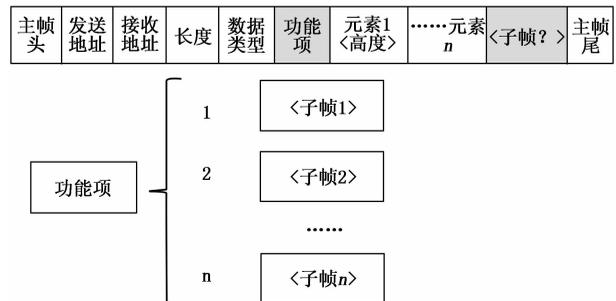


图 5 选择控制抽象示例

2.2 位开关控制

位开关控制是指数据报文中逻辑控制信息单元的二进

制比特位对应一个具体的子帧，二进制比特位值为 1 表示动态附加某对应子帧，0 表示不附加。例如图 6 所示，主帧中功能项即为位开关控制信息单元，功能项的二进制比特位对应一个具体的子帧，如 Bit0 对应子帧 1，Bit7 对应子帧 k。当 Bit0 值为 1 时，附加子帧 1，为 0 时不附加；当 Bit1 为 1 时，附加子帧 2，为 0 时不附加；当 Bit2 为 1 时，附加子帧 3，为 0 时不附加。

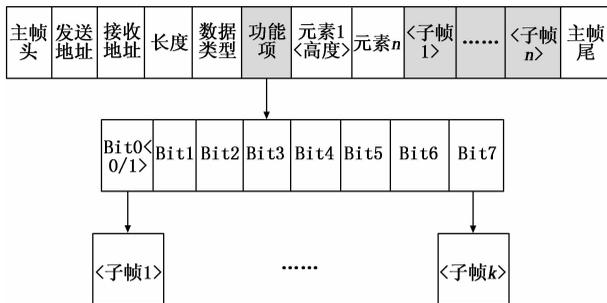


图 6 位开关控制抽象示例

2.3 循环控制

循环控制是指数据报文中逻辑控制信息单元的值确定了子帧重复添加的次数。例如图 7 所示，主帧中功能项即为循环控制信息单元，功能项的值为 1 时子帧在主帧中重复 1 次；功能项的值为 2 时子帧在主帧中重复 2 次；功能项的值为 k 时子帧在主帧中重复 k 次。

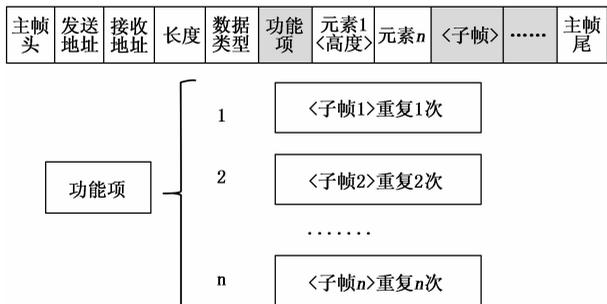


图 7 循环控制抽象示例

2.4 占位链接控制

占位链接控制信息单元是一个虚拟的逻辑控制信息单元，在实际数据报文中不占空间，主要用于标记子帧在主帧中动态扩展的位置，与选择控制、位开关控制、循环控制搭配使用，如图 5、图 6、图 7 中灰色底纹信息单元。

3 XML 语言实现动态可扩展报文模型

数据报文可分解到基本信息单元的特性使其可形式化为树形表达结构，XML 语言恰好具备树形结构的展现形式，而且 XML 节点属性化描述方式可表述信息单元的大量信息，如：信息单元名称、类型、值、数据类型、长度等等。同时，XML 语言便于计算机对模型的识别，以及跨平台之间信息传递。因此，XML 语言是对动态可扩展报文的模型的最佳实现方式之一^[6-7]。

3.1 动态可扩展报文 XML 框架结构

框架结构如下所示，Message 为根节点，表示数据报文

集合，多个数据报文并列作为兄弟节点，构成 Message 的子节点集合。数据报文 MsgData 是由多个信息单元集合构成，多个信息单元 MsgDataElement 并列作为兄弟节点。数据报文、信息单元所具有的特性通过 XML 节点属性表述。如下所示：

```

<Message>
  <MsgDataName="数据报文">
    <MsgDataElement Name="帧头" Length="4" Type="Hex"
      Value="" LinkTo="" />
    .....
    <MsgDataElement Name="逻辑控制信息单元" Length="4"
      Type="Hex" Value="1" LinkTo="占位链接控制信息单元"/>
    <MsgDataElement Name="信息单元 4" Length="4" Type="
      Hex" Value="" LinkTo="" />
    .....
    <MsgDataElementNodeType=" " Name="占位链接控制信
      息单元"/>
    .....
    <MsgDataElement Name="帧尾" Length="4" Type="Hex"
      Value="" LinkTo="子帧 1"/>
  </MsgData>
  <MsgDataName="子帧 1">.....</MsgData>
  <MsgDataName="子帧 2">.....</MsgData>
</Message>

```

子帧报文与主帧报文描述方式一样，并作为主帧报文的兄弟节点。主帧报文中逻辑控制信息单元与占位链接控制信息单元配合使用，LinkTo 属性表示映射、链接关系。占位链接控制信息单元也通过其 LinkTo 属性建立与具体子帧的映射关系^[8]。

3.2 信息单元的 XML 节点定义

信息单元节点定义为 MsgDataElement，是数据报文 MsgData 的子节点，多个信息单元并列作为兄弟节点。信息单元具有的特性通过 XML 节点的属性进行表达，如：名称、长度、信息单元类型、值类型、值、最小值、最大值、大小端、扩展标识等。如下所示^[9-10]：

```

<MsgDataElementNodeType="DataNode" Name="接收机衰
  减" Length="2" Type="Int16" Value="-10" Extend="False"
  Formula="" Endian="Little" LValue="" HValue="" Enabled
  ="True" LinkTo="" />

```

Name 表示信息单元名称。NodeType 表示信息单元类型，其值有应用信息 DataNode、选择控制 SelectCtrlNode、位开关控制 BitCtrlNode、循环控制 CycleCtrlNode、占位链接控制 LinkNode 等。Length 表示信息单元长度。Type 表示信息单元数据值 Value 的数据类型，包括：整型 Int、字符串 String、布尔型 Bool、IP 地址型 IP、浮点型 Float、高精度 Double、日期 DateTime 等等。Extend 表示信息单元是否为扩展，逻辑控制类型信息单元值为 True，应用信息类型值为 False。Endian 表示信息单元大小端属性。LValue、HValue 表示信息单元值 Value 的取值范围。LinkTo 表示与其匹配的占位链接控制信息单元^[8]。

3.3 XML 语言描述对动态可扩展报文控制逻辑

根据动态可扩展报文模型, 占位链接控制标记子帧在主帧中的扩展位置, 子帧动态添加方式主要通过选择控制、位开关控制、循环控制等信息单元表示, 并与占位链接控制信息单元配合使用。

3.3.1 XML 语言描述选择控制逻辑

选择控制信息单元与占位链接信息单元共同实现多个子帧的选择添加。如下代码片段所示, Name 属性为“选择控制信息单元 | 【选择控制】”的 XML 节点表示子帧在主帧中扩展的位置, Name 属性为“选择控制信息单元”的 XML 节点和其子节点决定在占位链接中扩展的具体子帧。EnumElement 节点集合通过 LinkTo 属性与被选择的子帧映射, 当 Value 属性值为 1 时, 表示 EnumElement 节点中“子帧 1”被选中, 其 LinkTo 属性所指向的“子帧 1”子报文动态添加到占位链接节点。如下所示:

```
<MsgDataName="数据报文">
.....
<MsgDataElement Name="选择控制信息单元" NodeType="SelectCtrlNode" Length="4" Type="Hex" Value="1" Endian="Little" LValue="" HValue="" LinkTo="选择控制信息单元|【选择控制】">
<EnumElement Name="子帧 1" Value="1" LinkTo="子帧 1" />
<EnumElement Name="子帧 2" Value="2" LinkTo="子帧 2" />
</MsgDataElement>
<MsgDataElement Name="信息单元 4" NodeType="DataNode" Length="4" Type="Hex" Value="" Endian="Little" LValue="" HValue="" LinkTo="" />
<MsgDataElementNodeType="LinkNode" Name="选择控制信息单元|【选择控制】"/>
.....
</MsgData>
<MsgDataName="子帧 1">.....</MsgData>
<MsgDataName="子帧 2">.....</MsgData>
```

3.3.2 XML 语言描述位开关控制逻辑

位开关控制信息单元与占位链接信息单元共同实现多个子帧在指定位置是否添加的控制。如下代码片段所示, Name 属性为“位控制节点 | 子消息 1”的占位链接控制节点表示子帧 1 在主帧中扩展的位置, 子帧 2、子帧 3 在主帧中的位置描述与上类似。Name 属性为“位控制节点”的 XML 节点和其子节点决定对应占位链接控制节点的子帧是否添加。Name 属性为“位控制节点”的 XML 节点按位拆分成 ExtendElement 节点集合, 其每一个节点对应一个子节点控制, 例如: “子消息 1” ExtendElement 节点, 其 Start 和 End 属性代表在字节中的起始 BIT 位置, LinkTo 属性指向其对应的占位控制节点, 当“子消息 1” ExtendElement 节点 Value 值为 0 时表示不添加子帧 1, 否则添加子帧。如下所示:

```
<MsgData Name="数据报文 1" >
.....
<MsgDataElement Name="位控制节点" NodeType="BitCtrlNode" Length="4" Type="Hex" Value="" Endian="Little" LValue="" HValue="" LinkTo="" >
<ExtendElementNodeType="BitCtrlNode" Name="子消息 1" Value="0" Start="0" End="1" Type="Hex" Endian="Little" LValue="" HValue="" LinkTo="位控制节点|子消息 1" />
<ExtendElementNodeType="BitCtrlNode" Name="子消息 2" Value="0" Start="2" End="3" Type="Hex" Endian="Little" LValue="" HValue="" LinkTo="位控制节点|子消息 2" />
<ExtendElementNodeType="BitCtrlNode" Name="子消息 2" Value="0" Start="4" End="5" Type="Hex" Endian="Little" LValue="" HValue="" LinkTo="位控制节点|子消息 3" />
</MsgDataElement>
<MsgDataElement Name="信息单元 4" NodeType="DataNode" Length="4" Type="Hex" Value="" Endian="Little" LValue="" HValue="" LinkTo="" />
<MsgDataElementNodeType="LinkNode" Name="位控制节点|子消息 1" LinkTo="子帧 1" />
<MsgDataElementNodeType="LinkNode" Name="位控制节点|子消息 2" LinkTo="子帧 2" />
<MsgDataElementNodeType="LinkNode" Name="位控制节点|子消息 3" LinkTo="子帧 3" />
.....
</MsgData>
<MsgDataName="子帧 1">.....</MsgData>
<MsgDataName="子帧 2">.....</MsgData>
<MsgDataName="子帧 3">.....</MsgData>
```

3.3.3 XML 语言描述循环控制逻辑

循环控制信息单元与占位链接信息单元共同实现子帧在指定位置重复添加次数。如下代码片段所示, Name 属性为“循环控制信息单元 | 【循环控制】”的占位链接控制节点表示子帧 1 在主帧中重复添加的位置。Name 属性为“循环控制信息单元”的 XML 节点决定对应占位链接控制节点所指向的子帧重复添加的次数。例如: 当“循环控制信息单元”的 XML 节点 Value 属性值为 2 时, 表示其 LinkTo 属性指向的占位链接控制对应子帧重复添加 2 次。

```
<Message>
<MsgData Name="数据报文 1" >
.....
<MsgDataElement Name="循环控制信息单元" NodeType="CycleCtrlNode" Length="4" Type="Hex" Value="3" Endian="Little" LValue="" HValue="" LinkTo="循环控制信息单元|【循环控制】"/>
<MsgDataElement Name="信息单元" NodeType="DataNode" Length="4" Type="Hex" Value="" Endian="Little" LValue="" HValue="" LinkTo="" />
<MsgDataElementNodeType="LinkNode" Name="循环控制信息单元|【循环控制】" LinkTo="子帧 1" />
.....
```

```
</MsgData>
<MsgDataName="子帧 1">.....</MsgData>
</Message>
```

3.3.4 XML 语言描述占位链接控制逻辑

占位链接控制信息单元是一个虚拟的信息单元，在实际数据报文中不占空间，无具体值。它表示对应子帧在主帧中出现的位置，需要与选择控制、位开关控制、循环控制等信息单元配对使用。选择控制、位开关控制、循环控制等信息单元的 LinkTo 属性指向对应的占位链接控制信息单元。

```
<MsgDataElement Name="循环控制信息单元" NodeType="CycleCtrlNode" Length="4" Type="Hex" Value="3" Endian="Little" LValue="" HValue="" LinkTo="循环控制信息单元|【循环控制】"/>
```

```
.....
<MsgDataElementNodeType="LinkNode" Name="循环控制信息单元|【循环控制】" LinkTo="子帧 1"/>
```

4 总结

本文通过分析常规数据报文格式以及动态可扩展数据报文格式，归纳出基本信息单元的类型和用途，以及具有的 3 种特性：数据报文具有可逐层分解到基本单元的特性；基本信息单元具有应用信息表达或报文结构表达作用；动态可扩展数据报文中结构表达类型增多等。根据分析结果，提出了适应动态可扩展的数据报文描述模型。最后，使用 XML 语言给出了模型的框架描述方法，以及选择控制、位

(上接第 155 页)

表 1 100%加载级控制数据

通道名称	命令/KN	反馈/KN	误差/%
CH_2_1	-10.000	-10.021	0.210
CH_2_2	-10.000	-10.017	0.170
CH_2_3	-8.000	-8.002	0.025
CH_2_4	-8.00	-8.021	0.263

表 2 为工况一试验 100%加载控制误差判断提示数据，软件根据加载控制精度，对误差值超出要求的通道做出标识，提醒试验人员加以注意。

表 2 100%加载级控制误差判断数据

通道名称	命令/KN	反馈/KN	误差/%
CH_2_1	-10.000	-10.021	0.210
CH_2_2	-10.000	-10.017	0.170
CH_2_3	-8.000	-8.002	0.025
CH_2_4	-8.000	-8.090	#(1.125)

4 结束语

通过对某部件静强度试验 MOOG 加载控制数据处理的实际应用表明，本文基于 LabVIEW 平台设计的针对 MOOG 加载控制数据处理软件，操作界面便捷，数据显示直观，运行可靠，实现了对 MOOG 原始数据的自动化处

理。通过运用该软件可实现对多通道控制数据格式转换，控制通道的误差计算及加载控制数据报告的自动生成。该软件处理方法在减少人工处理数据时间的同时也降低了人工处理数据造成的错误率，保证了试验数据处理的正确性，提高了试验数据处理效率，可为其他控制系统数据处理方法提供参考意义。

参考文献：

- [1] 叶海明, 周绍磊, 王昆平. 通用测试系统软件平台设计 [J]. 研究与开发, 2010, 29 (2): 54-57.
- [2] 郝力, 史国华, 朱学东, 等. 基于 XML 技术软件测试自动化研究与实现 [J]. 军用软件测评实验室, 2013 (3): 28-32.
- [3] 马庆利. 基于 XML 技术的软件测试自动化 [D]. 大连: 大连交通大学, 2007.
- [4] 翟邵雷, 胡海峰, 高晨. ICD 仿真测试系统在总线冗余控制系统中的应用 [J]. 航天控制, 2010, 28 (2): 84-88.
- [5] Joulina A F. Avionics system evolution drives military data bus development [J]. Avionics, 1993, 38 (2): 123-126.
- [6] 叶中脉, 秦开宇, 陈华伟, 等. 航电系统通用总线监控软件的设计与实现 [J]. 测控技术, 2012, 31 (3): 94-97.
- [7] 兰孝文. 软件自动化测试用例表达及用例生成的研究 [D]. 成都: 成都理工大学, 2008.
- [8] 刘金宁, 孟晨, 杨锁昌. 基于信号接口的自动测试系统软件的设计与实现 [J]. 电子应用技术, 2003, 29 (10): 31-34.
- [9] 杨东凯, 杜里, 贺雅楠. 基于参数的通用自动测试系统软件设计 [J]. 测试技术学报, 2009, 23 (2): 117-122.
- [10] 强明, 李卫民. 一种用于星上数据总线的数字仿真软件 [J]. 计算机仿真, 1998, 15 (4): 56-59.

理。通过运用该软件可实现对多通道控制数据格式转换，控制通道的误差计算及加载控制数据报告的自动生成。该软件处理方法在减少人工处理数据时间的同时也降低了人工处理数据造成的错误率，保证了试验数据处理的正确性，提高了试验数据处理效率，可为其他控制系统数据处理方法提供参考意义。

参考文献：

- [1] 董天, 张再林, 胡新玲, 等. MOOG 控制系统的应用与多通道软件设计 [J]. 工程与试验, 2013, 54 (1): 57-60.
- [2] 张宁, 李宏亮, 吝继锋, 等. VB 技术在 MOOG 控制系统数据处理中的应用 [J]. 工程与试验, 2017, 57 (1): 75-78.
- [3] 纳杰斯, 丁明德. 基于 LabVIEW 的通用且可定制的数据采集处理软件设计 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (11): 158-161.
- [4] 叶文, 关成准, 祁德元. 基于 LabVIEW 的幅频特性测试系统设计 [J]. 测控技术, 2019, 38 (2): 29-32.
- [5] 陈国顺, 于涵伟, 王格芳. 测试工程及 LabVIEW 应用. [M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [6] 陈锡辉, 张银鸿. LabVIEW8.20 程序设计从入门到精通. [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [7] 杨乐平, 李海涛, 赵勇. LabVIEW 高级程序设计 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [8] 彭勇, 潘晓辉. LabVIEW 虚拟仪器设计及分析 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.