

基于数据格式库的卫星通用测试软件设计

刘洋, 李家琦, 李宗德

(上海微小卫星工程中心, 上海 201203)

摘要: 针对当前卫星地面测试软件开发周期长、成本高及缺乏通用性的缺点, 提出了使用对象数据库进行卫星数据格式库设计, 并基于此进行通用化的卫星测试软件设计的方法, 详细介绍了软件的组成构架、各部分的功能、工作机理以及软件的工作流程; 基于数据格式库的卫星通用测试软件具有良好的通用性, 能够满足不同卫星项目的设计和测试需求, 支持数据格式的快速变动和修改, 实现卫星测试系统的快速开发, 并具有良好的应用外延; 实际应用表明, 该软件可节省卫星研制和测试的时间和成本, 提高卫星研制的效率, 是对卫星通用化测试软件发展一次有益的探索和尝试。

关键词: 卫星; 测试软件; 数据格式库; 对象数据库

Design of General Satellite Test Software Based on Data Format

Liu Yang, Li Jiaqi, Li Zongde

(Shanghai Engineering Center for Microsatellites, Shanghai 201203, China)

Abstract: A method for designing general satellite test software based on data format store is proposed to make up the deficiency of software design in satellite development. The frame, function and mechanism of the software are elaborated. In the course of software design, the object database is used to construct the data format store. By this means, the software can not only meet different requirement of satellite design and test, but also adapt to the change of data format. It is proved by the application that the general software can improve the efficiency and reliability of satellite development, which provides a much more effective method for general satellite test software design.

Keywords: satellite; test software; data format store; object database

0 引言

卫星地面测试系统作为卫星开发和研制的重要组成部分, 是验证、检查卫星功能和性能的主要手段, 对卫星的研制周期和成本等方面也有着重要的影响^[1]。目前, 卫星测试数据存在测试量大、信号类型复杂、数据实时性、一致性和可靠性要求高、数据随环境变化快等特点^[2], 并且不同型号卫星测试数据格式复杂多样, 各卫星测试软件都为专用, 各项目间难以复用。上述问题使得每研制一个新的卫星项目, 几乎都要重新开发一套测试软件, 尤其是数据解析和处理软件, 这大大影响了卫星开发的周期和成本。因此, 如何将卫星的数据格式设计和解析处理软件的开发统一起来, 建立和设计一套适应卫星快速开发的通用测试软件系统将对卫星的研制起到重要的推动和促进作用。

1 影响当前卫星测试软件通用化的因素

当前, 影响卫星解析和处理软件通用化的原因主要有以下几个方面:

1) 卫星数据格式的定义缺乏规范化。不同卫星研制部门, 甚至是同一卫星研制部门的不同型号之间, 所定义的卫星数据格式大多是不同的, 这使得难以使用统一的软件来对所有卫星数据进行解析和处理。

2) 不同卫星项目之间, 应用数据的类型和结构各不相同。由于大多数卫星都为专用目的, 其数据形式各不相同, 这使得

数据解析软件也基本为专用定制, 除了具有相同应用的系列卫星外, 各卫星项目间的软件难以做到通用。

3) 不同卫星数据的应用处理算法不同。不同应用目的的卫星数据存在不同处理算法, 即使使用相同的算法, 算法之间的参数也可能各不相同, 需要专门的解析代码来进行数据处理, 这也严重地限制了软件通用化的发展。

因此, 要想实现开发通用的卫星数据解析和处理软件, 就必须能够很好地适应和解决上述的几个问题。

2 通用卫星测试软件的设计原则

卫星数据解析和处理软件要想实现通用化, 就必须能实现以下几项功能:

1) 能够接收和处理不同形式的数据交换格式, 即数据的定义形式。目前主流的卫星数据交换格式主要有两种: 基于文本约定的数据交换格式和基于元标记语言的数据交换格式。基于文本约定的数据交换格式是指将数据的格式和结构以文本的形式(主要是表格)描述和定义, 对卫星数据的处理和解析都是基于这些文本约定, 目前国内的卫星项目都是使用基于文本约定的数据交换格式。基于元标记语言的数据交换格式是使用通用的元标记语言, 如 XML 语言^[3-4], 对数据的格式和结构进行描述, 欧美等国家的卫星项目通常都是用这种数据描述方式。近年来, OMG 提出的 XTCE 数据文件已成为卫星数据交换格式的一种通用标准^[5-8], 在诸多卫星项目中被广泛采用。因此, 要想实现软件的通用化, 尤其是能适应与国际卫星项目的合作, 就必须能同时适应这些数据交换格式。

2) 能够自动适应数据格式定义的变化。在卫星测试的过程中, 卫星数据的格式不可避免地要进行调整或修改, 如果自动测试程序不能很好地适应这种变化, 就会在数据格式变化的

收稿日期:2014-01-17; 修回日期:2014-03-03。

基金项目:863 计划课题(2011AA12A101)。

作者简介:刘洋(1980-),男,黑龙江大庆人,工学博士,主要从事卫星测控总体设计、自动测试系统设计等方向的研究。

同时, 引入大量的程序修改工作。这不但会给整个测试过程增加工作量, 而且容易引入人为的错误, 从而增加卫星研制的进度和风险。因此, 通用化的卫星测试程序必须能够适应这种变化, 这就要求对数据格式的定义和解析要独立于应用程序之外, 使数据格式的变化不会对整个应用程序产生影响。目前基于数据格式动态解析, 结合对象生成和调用的方法可以较好地解决这个问题。

3) 能够实现模块化并具有继承性。当程序以模块化的结构实现后, 可以减少每一部分的变化对整体的影响, 这首先就保证了程序的安全性。其次, 具有继承性的模块化程序可以被后续程序直接使用, 减少了后续程序的开发时间, 从而达到测试程序快速开发的目的。随着不同卫星任务的开发, 当可调用的模块化程序逐渐丰富后, 新的测试程序的开发相当于不同功能模块的组合和调用, 只需为某些特定的功能单独开发专用程序, 并且这些专用程序也可以打包被后续项目使用, 这样就实现了通用化的测试程序。

当前通用化软件的设计思路是将卫星的数据格式与测试程序分离开来, 其实现手段主要有两种: 一是将卫星数据格式信息设置为配置项文件^[9-11]; 另一种是利用关系数据库进行数据格式的表格式管理^[12]。前一种方法的缺点是以文件存储为主来处理测试数据, 对于后期的历史数据的查询不是很方便, 且配置文件难以复用; 后一种方法的主要缺点是数据格式到关系数据库的映射复杂, 表格之间链接繁琐, 难以适应数据格式的快速变化。针对现有通用化方法存在的不足, 本文提出了基于数据格式库的通用卫星地面测试软件设计方法。

3 通用卫星测试软件的框架

通用卫星地面测试软件的框架如图 1 所示, 它以数据格式库为核心, 卫星的数据交换格式文件被数据格式解析器转换为应用程序可直接使用的对象及外部系统所需要的数据交换格式。测试应用程序通过调用数据格式库中的数据格式对象来完成对卫星原始数据或测试数据的解析。



图 1 通用卫星地面测试软件框架

对数据格式的相关解析和操作都是通过图 1 中最下方所示的数据格式解析器、参数解析方法和数据格式查询及修改 3 个功能套件来实现。

3.1 数据格式库

现有的卫星测试系统或平台大都采用基于关系数据库的设计方法^[12-13]来完成测试数据的存储, 而本例中所用的对象数据库除了用于存储数据格式对象, 也同时作为测试数据库使用, 即对测试的原始数据和解析数据进行存储, 这样就避免了多个数据库的重复使用。

数据格式库是基于 VERSANT 对象数据库来进行设计的, 用于存储解析好的数据格式对象。使用 VERSANT 对象数据库的优势主要有以下几点:

1) 数据库管理系统将数据结构的映射过程集成在数据库管理软件中, 可以直接将较复杂的数据格式或结构直接转换成数据库中的数据格式类或对象, 免去了将各种数据格式映射到数据库中的复杂过程。

2) 能够管理任何类型的复杂模型, 可以有效支持复杂程序数据结构, 而无需对其拆分。能够管理对象间的任何关系, 实现复杂数据对象的一次性存储, 透明装载, 能极大提高系统效率。

3) 能够实现数据与程序语言的无缝集成: 各数据格式均以类或对象的方式存储于数据格式库中, 这些数据格式类包含了两部分的内容: 属性和方法。属性包含了卫星数据的格式信息, 如数据的长度、类型、单位和表示方法等。方法包含了卫星数据的解析和处理方法。某些常用的数据格式和方法可以设置成基础类, 新的参数可以通过对基础类的继承来实现, 这样就实现了数据格式的复用性和通用性。某卫星测控分系统 USB 应答机 A 的 AGC 遥测示例如下:

```
class xx_CK_USBAAGC
{
//属性:
int dataLength;
int startPlace;
float maxVal;
float minVal;
enumeration dataUnit;
int packetAPID;
//方法:
float DataParse();
.....
}
```

数据格式库中的数据格式对象有多种归类方式, 以便于应用程序的查询和调用。

1) 根据卫星项目的分类, 不同卫星项目中应用的数据格式对象被分到一类中, 当该型号的卫星进行地面测试时可直接到该类对象中进行调用。这种分类尤其适合成系列的卫星型号, 新研制的卫星可以直接继承大部分的数据格式对象。

2) 根据数据格式的通用性进行分类。对于卫星上常用的一些数据格式或结构, 如电压量、温度量等, 可以直接将它们设置为通用数据格式类, 这些数据格式类会在各个不同的卫星项目测试中被频繁调用, 因此把它们合并在一起, 当某些参数根据特殊用途需要进行少量修改时, 可以直接对这些通用数据格式类进行继承。对于某些卫星项目中专用或特有的数据格式, 可以将其归到专用数据格式类中, 这些数据格式类使用不多, 合为一类便于管理。

3) 根据数据格式应用目的分为遥控数据格式类, 遥测数据格式类和综合测试数据格式类, 这样的分类便于测试应用程序中不同功能函数的调用。

4) 根据用于解析数据的来源进行分类。卫星在地面测试的过程中, 部分数据格式只用地面测试时才会使用到, 卫星在轨运行时将不会再用。将该类数据归为地面测试专用数据格式类, 在卫星运控过程中将不会使用该类数据格式对象, 这样分类可以避免数据格式的误调用。

数据格式库除了对单个卫星参数的数据格式进行存储,

还可以对多个数据参数组成的复杂数据结构进行存储。例如对于分包遥测中的数据包格式、PCM 遥测中的数据帧格式。当数据包或帧中的数据格式完全固化下来后,可以直接调用这些包或帧格式对象对卫星数据进行解析,而不是再逐一调用单个的数据格式对象,这种方法大大节省了应用程序的开销。

此外,使用对象数据库进行数据格式库设计,可以非常方便地对数据格式进行版本控制。当卫星转阶段后,部分数据内容和格式会进行适当的调整。数据格式库会在数据格式变化后保留原有的版本,并生成新的版本。这样既满足了新阶段的测试任务,也保留了对以前测试数据的解析功能。

3.2 数据格式解析器

数据格式解析器的功能是将不同格式的数据交换格式文件进行解析,将规定的卫星数据格式转换成应用程序可直接使用的数据格式对象,并将这些数据格式对象存储到数据格式库中。此外,数据格式解析器还可以对数据交换格式文件进行转换,以支持不同卫星数据设计或应用部门对数据交换格式文件的需求。其内部结构框图如图 2 所示。

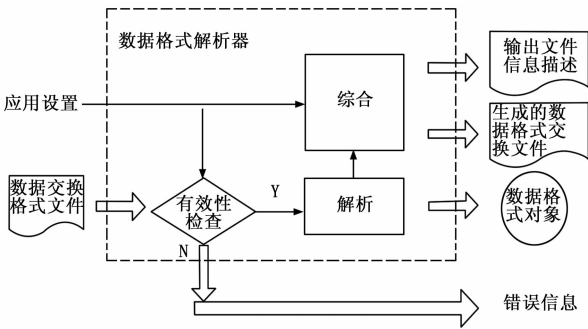


图 2 数据格式解析器结构框图

数据格式解析器首先对输入的数据交换格式文件进行有效性检查,如果所输入的数据交换格式文件不是所支持的格式,或格式存在错误,则终止程序,并在相应的日志文件中输出错误的信息。目前,数据格式解析器所支持的数据交换格式文件有文档格式(.doc),电子表格格式(.xls)和 XTCE 格式(.xtce 和 .xml),其中 XTCE 文件要符合 XTCE schema V1.1 版本的格式要求。对于不同方式设计的数据交换格式文件,数据格式解析器体现了较好的兼容性和通用性,并将以往卫星测试软件中应用程序与数据格式的耦合关系分离开来,保证了应用程序与卫星数据格式的相对独立性,实现了地面测试程序的通用性。

在验证了数据格式的有效性后,解析器对数据交换格式文件进行解析,输出数据格式对象并将其存储到数据格式库中。此外,解析器还会根据应用设置的选项来决定是否生成其它格式的数据交换文件以供其它的数据应用系统使用。在输出数据交换文件的同时还会输出对应格式的说明文件对输出结果进行描述,描述的内容包括输出文件的格式、文件生成的时间、生成的格式文件所对应的源文件,以及在数据格式库中对应的数据格式对象等。

3.3 参数解析方法套件

参数解析方法套件的主要功能是对卫星数据的解析或处理方法进行说明和详细定义。卫星数据的解析和处理方法都是以

功能函数的形式进行定义的,对于通用的解析方法,可以以动态链接库的形式存储到数据格式库中并与所用到的卫星参数进行关联,以供测试应用程序调用;对于某些专用的解析函数,可以直接嵌入到数据格式类的私有函数中。

3.4 数据格式查询及修改器

数据格式查询及修改器用于对数据格式库中的数据格式元素进行查找,编辑和修改。对于某些较复杂或需要频繁修改的数据格式元素,可以直接通过该套件对其进行设计或修改,有助于数据格式库的调整和维护。

3.5 测试应用程序

应用程序通过调用数据格式库中的数据格式对象来对原始数据进行解析、处理、存储和显示等操作。应用程序中各功能程序均通过模块化的子程序来实现,不参与卫星数据格式的设计和调整的相关操作。与原始数据格式相关的操作均通过与数据格式库的接口进行交互来完成,这些接口都是标准化的操作和应用,不需随着不同卫星项目的变化进行改动,这样就实现了测试应用程序的标准化和通用化。

测试应用程序中的显示界面由于通用化的需求,只以最简洁的数值显示控件来实现,根据参数的显示或输入需要动态显示在测试终端的面板上,参数的分类通过分页的方式来实现。对于参数的显示或操作有特殊需求的,可以在通用面板的基础上增加专用的显示面板。

4 通用卫星测试软件的工作流程

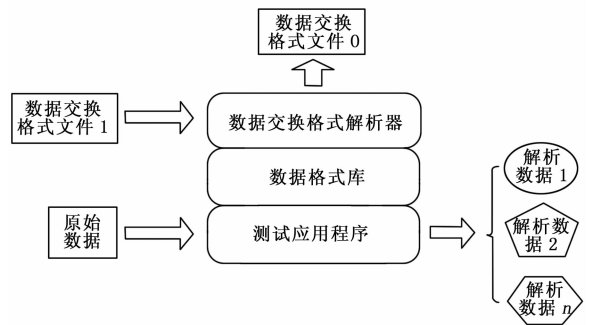


图 3 通用测试软件的工作流程图

对于不同的卫星项目,卫星数据的形式及内容是各不相同的,并且数据格式的定义形式也不同。使用时,将定义好的数据交换格式文件输入到通用测试软件中,数据格式解析器根据输入的设置,将数据交换格式文件进行解析,分解成详细的卫星各参数的数据格式对象并存储到数据格式库中。数据格式解析器也会根据应用的需要输出其它形式的卫星数据交换格式文件,以适应其它外部卫星数据应用系统的使用需要。

实际测试过程中,测试应用程序从数据格式库中选择相应的数据格式对象对卫星原始数据或模拟数据进行解析,输出不同形式的应用数据。

对于不同的卫星项目,通用测试程序基本不需要改动,只需要输入各项目对应的数据交换格式文件即可。这样,每个卫星项目的测试开发工作只是进行卫星数据交换格式文件的设计而已。由此可见,通用卫星测试程序的使用可以大大节省卫星设计、研制和测试的时间和成本,同时提高了卫星研制的可靠性。

5 基于数据格式库的通用测试软件应用外延

5.1 Client-Server 测试构架

基于数据格式库的通用测试软件可以很好地适应不同卫星项目的输入变化和测试需要,加快测试的进程,节省卫星研制的时间和成本。当多个卫星项目需要同时进行测试时,同时使用几套这样的测试软件的代价显然是非常高的。为了解决这个问题,可以将数据格式库抽象独立出来,设置成为一个数据格式库服务器,数据格式库的内容由对应的维护终端来输入和修改,如图4所示。各卫星项目的测试终端作为客户端与服务器相连,客户端只运行卫星的测试程序。这种方式提高了数据格式库的利用率,降低了系统的运营成本,非常适合多个卫星项目同时测试的情况。

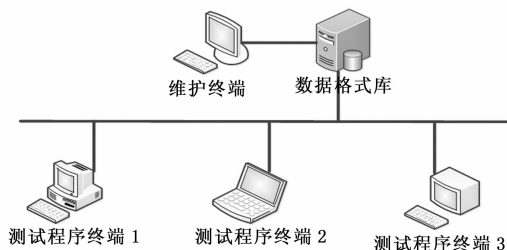


图4 C-S构架的数据格式库测试系统

5.2 天地一体化测试系统

基于数据格式库的通用测试软件除了可以满足卫星的测试需求,还可以与相应的运控设备一起组成小型的地面站,如图5所示。基于数据格式库的通用测试软件与地面测试设备和运控设备一起组成了一个天地一体化测控系统,卫星的测试和在轨测试由一套设备完成,特别适用于需要对卫星实时监控的卫星研制部门或用户。

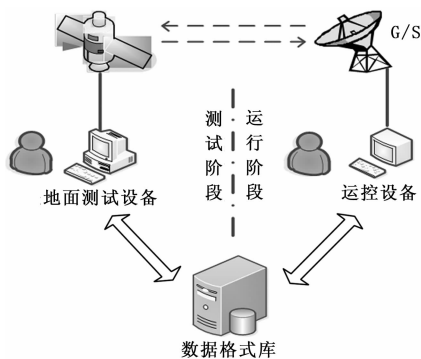


图5 天地一体化测控系统

6 通用测试软件的应用效果及优势

基于数据格式库的通用卫星地面测试软件在以下几个方面体现出了较好的通用性和先进性:

1) 数据格式库存储和兼容了各种卫星数据格式,并以基类的方式将常用数据格式和结构抽象归纳出来,便于后续项目的直接或继承使用。对象数据库的使用避免了将各种数据格式映射到数据库的复杂工作过程,降低了工作复杂度并减少了工作量。

2) 卫星数据的解析不需要再开发专用的测试应用程序,只需按照测试软件适应的数据交换格式设计对应的数据交换格

式文件即可,卫星数据格式的变化不会对通用测试应用程序产生影响。数据格式解析器适应多种数据交换格式,可以适应不同卫星项目及外部应用系统的要求。

3) 数据解析方法通过数据格式类的方法和动态链接库的方式嵌入到数据格式库中,设计和修改方法简单,减少了与测试应用程序的耦合。

4) 基于数据格式库的扩展应用可以适应多个卫星项目地面测试软件的并行开发和应用,可以有效降低卫星测试系统的开发成本。基于数据格式库的通用测试软件配备相应的外设也支持对天地一体化测控系统的构建。

目前,基于数据格式库的通用卫星地面测试软件已在某卫星项目和某预研课题中得到了使用验证。实际效果表明,该软件的使用可以实现地面测试系统的快速构建,能够适应卫星数据格式变化的快速修改,具有较好的通用性和适应性。

7 结论

基于数据格式库的通用卫星地面测试软件改变了以往卫星地面测试软件的开发思路,根据通用性的指导原则,以数据格式库为核心,构建了适应各种卫星项目的通用软件框架。该软件在不改变测试应用程序的同时,适应多种卫星数据交换格式,适应数据格式的变化和数据解析方法的变化,并满足多种扩展应用需求。实际应用表明,该软件可以实现卫星测试软件的快速开发,节省卫星研制和测试的时间和成本,提高卫星研制的效率。

参考文献:

- [1] 王志勇,蔡晓东. 可视化卫星测试交互软件的设计及应用[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(12): 3331-3334.
- [2] 张黎明,孙宁,于慧亮,等. 基于PXI的卫星综合测试系统的设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2008, 16(1): 27-29.
- [3] 南松辉,田佳,张海波,等. 基于UML和XML Schema的航天飞行数据建模[J]. 网络与信息技术, 2008, 27(1): 46-48.
- [4] 徐爱民,于志坚,黄学祥. XML扩展在航天测控中的应用[J]. 遥测遥控, 2007, 28(1): 52-58.
- [5] XML Telemetric and Command Exchange (XTCE) [S]. CCSDS 660.0, Green Book, 2006.
- [6] XML Telemetric and Command Exchange (XTCE) [S]. CCSDS 660.0, Blue Book, 2007.
- [7] XML Telemetric and Command Exchange (XTCE) [S]. CCSDS 660.0, Draft Magenta Book, 2008.
- [8] Simon G, Shaya E, Rice K, et al. XTCE: A Standard XML-Schema for Describing Mission Operations Databases [A]. Aerospace Conference, 2004. Proceedings [C]. IEEE, 2004.
- [9] 张晓清,刘卫宏,刘伟,等. 通用卫星地面测试总控软件设计与实现[J]. 装备指挥技术学院学报, 2005, 16(4): 103-106.
- [10] 段慧芬,孙丰,薛倡新. 测站试验任务软件接口设计与实现[J]. 飞行器测控学报, 2009, 28(5): 55-59.
- [11] 毕于莲,孟晓凤,王国华. 卫星地面测试通用MTP软件设计与实现[J]. 中国测试技术, 2008, 34(1): 70-73.
- [12] 苏林,尚朝轩,翟毅华. 基于数据库的自动测试系统软件平台的设计与实现[J]. 军械工程学院学报, 2007, 19(3): 35-37.
- [13] 张勇,王堃,王强,等. 基于实时数据库的卫星测试平台的设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2009, 30(2): 335-337.