

doi: 10.7690/bgzd.2019.05.010

遥测数据处理软件的通用化设计与展望

王力文, 张国群

(上海机电工程研究所, 上海 201109)

摘要: 针对现阶段遥测事后处理软件复用率低、各型号独立版本沿用性差的问题, 运用通用化的思想设计一款支持多型号通用的遥测数据处理软件。通过研究遥测地面接收站录取的帧格式建立数据库模型, 用面向对象的方法实现通用遥测数据处理平台的主要功能模块, 并对数字量出现在副帧中以及在不同阶段周期不一致的特殊问题进行分析。结果表明: 该软件能提高遥测数据处理的可靠性和故障分析效率, 为后续的产品工程建设指明方向。

关键词: 遥测; 数据处理; 通用化; 数据库; 帧格式

中图分类号: TP311.5 **文献标志码:** A

Universal Design and Prospect of Telemetry Data Processing Software

Wang Liwen, Zhang Guoqun

(Shanghai Electro-mechanical Engineering Institute, Shanghai 201109, China)

Abstract: In view of the low reuse rate of the telemetry after-process software and the poor usability of independent version of each model, the generalized idea is used to design the telemetry data processing software that supports multiple models. The database model is established by studying the frame format of the telemetry ground receiving station, and the main functional modules of the universal telemetry data processing platform are realized by the object-oriented method, and the special problems in which the digital quantity appears in the sub-frame and the periods are different at different stages are carried out. The results show that the software can improve the reliability of the telemetry data processing and the efficiency of fault analysis, and point out the direction for the subsequent product engineering construction.

Keywords: telemetry; data processing; universal; database; frame format

0 引言

根据武器系统总体的产品可靠性要求, 各型号在不同研制阶段都需要通过导弹飞行试验对产品进行验证。导弹飞行试验中, 导弹各个系统工作状态参数汇总调制后通过遥测系统发出, 遥测数据处理软件是遥测系统的重要组成部分, 在故障检测、数据分析、评估产品性能等方面都起到了至关重要的作用。随着新研航天产品的种类不断增多, 数量不断增大, 飞行试验数量也与日俱增, 遥测软件使用更加频繁, 原本基于各型号独立开发的遥测数据处理软件的开发修改工作量大大增加, 无论在代码复用率还是参数化水平上都处于比较低的状态。为了降低型号的研制成本, 用通用化、产品化的思想来实现遥测数据处理软件的一版通用, 并结合研制任务书中一些特殊的通信模式逐步优化, 从全局上解决问题。

1 通用数据库结构设计

遥测就是对被测对象的某些参数(如滚动角、偏航角等)进行远距离测量, 通过传感器、变换器近距

离测量被测对象的各种物理量, 然后通过有线或无线电系统远距离传输信号^[1]。而遥测数据处理软件主要功能是将遥测地面站收录到的原始遥测数据还原到弹上遥测设备输入端测量的实际值, 包括模拟量遥测参数和数字量遥测参数的还原处理^[2], 并以较为直观的直角坐标系曲线和数据表格的形式显示和打印出来。

遥测设备收录下来的帧数据会存储在.dat 文件中, 格式基本按照遥测设备研制任务书中关于子帧波道表的描述。如表 1 所示, 规定了一个子帧数据中前 24 个字节的内容, 包含帧头、帧流水号、模拟量、数字量以及副帧。如果副帧 ID 为 0~3, 则子帧依次遍历 4 次即为完整的一帧。表中带有 U 字样的为模拟量, ZK 和 ZD 分别表示 2 种不同设备传输出来的数字量。数字量利用分包技术, 把各个数据源产生的数据按照通信协议组成数据包, 并插入到主帧中进行异步传输^[3-4]。

1.1 波道数据库的设计

从表 1 可以看出, 数据库中形成了 2 种类型的

收稿日期: 2018-12-25; 修回日期: 2019-02-08

作者简介: 王力文(1988—), 女, 上海人, 硕士, 工程师, 从事软件工程、软件测试、遥测事后处理软件开发研究。

数据：一种为模拟量，另一种为数字量。虽然遥测数据帧结构在数据格式、波道编排等方面有较大差异，但还是有规律可循^[5]。如表 2 所示，每种信号

量在主帧中所处的位置以及主帧的整体框架(如帧长、帧头内容、帧头长度、副帧 ID 位置和副帧周期等)信息可以归类到波道数据库中。

表 1 子帧波道表(例)

波道号	0	1	2	3	4	5	6	7
参数名称	0xEB	0x90	时间码 H	时间码 L	ID	U _{B+28}	0x55	0x55
波道号	8	9	10	11	12	13	14	15
参数名称	ZK1	ZK2	ZD1	ZD2	ZD3	U _{Zwbj}	U _{Zfsmk}	0x55
波道号	16	17	18	19	20	21	22	23
参数名称	ZK3	ZK4	U _{Zbh}	U _{Zztb}	U _{Zwb}	副 1	副 2	副 3

表 2 波道数据库索引

序号	表名	说明
1	skeleton	波道框图表
2	frameParaIndex	主帧参数索引表
3	floatChannelPos	浮动波道占位表
4	floatChannelFrameFormat	浮动波道帧格式表
5	floatFrameParaIndex	浮动参数索引表
6	device	设备表

其中：波道框图表定义了子帧的整体框架；设备表罗列了模拟量和数字量的所有种类，并用 frametype 字段进行区分，0 表示模拟量，1 表示数字量，再进一步通过 type 字段进行数字量的二级区分，比如数字量 ZK 可以表示为 0，数字量 ZD 可以表示为 1，而模拟量在数据解析过程中基本统一，不再进行二级区分，type 设置默认值为 0。

主帧参数索引表定义了模拟量的信息。SubFirstPos 字段表示该信号量在副帧结构图里的波道 ID 号，如果该信号量在主帧里则表示为 0，FirstPos 表示信号量在子帧中第一次出现的位置，CycleCounter 表示信号量在整个周期中出现次数。

相比模拟量而言，数字量的存储方式以及数据解析过程都比较复杂，主要分为 3 层结构：1) 数字量在子帧结构图中的位置信息、每一种数字量分几帧传；2) 每一帧的基本信息(包含帧长、帧头字节数、帧头内容和帧标识字节数等)；3) 数字量本身所包含的所有信号量在数字量完整帧中的位置信息。如图 1 所示，带 float 前缀的 3 张表从左到右依次代表了这 3 层结构关系。

1.2 参数特性数据库的设计

如表 3 所示，对比分析各种设备产生的信号量，通信协议中一般都定义了每个信号量的字节序号、量程和比例系数等参数特性。笔者把这些信息归类到参数特性数据库中，可分为模拟量参数表和数字量参数表。

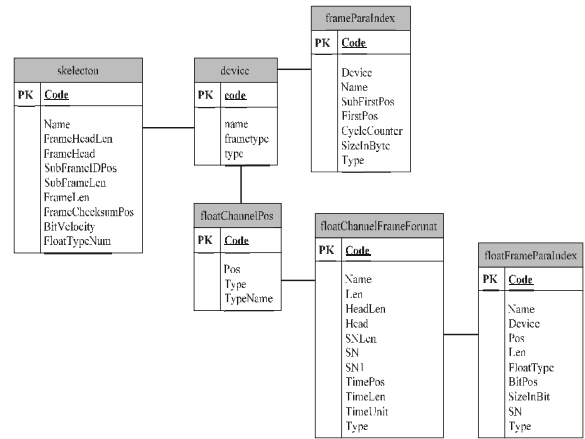


图 1 波道数据库表的结构关系

表 3 参数特性数据库索引

序号	表名	说明
1	framePara	模拟量参数表
2	floatPara	数字量参数表

一般情况下，遥测设备收录的模拟量多为电压值^[6]，遥测数据处理软件应具备物理量还原处理的能力。硬件采集电压量时只能通过 DA/DO 采集，硬件要求采集的电压只能在 0~5 V；因此，硬件上在电压输出前进行了归一化处理。将电压归到 0~5 V 之间，例如硬件上实际电压为 -10~20 V，DADO 口输出为 0~5 V，需要对 -10~20 V 进行归一化处理，通过线性方程 $y=ax+b$ ，可以求出 a 和 b ，进行硬件设计，其中 a 和 b 由用户提供(如图 2 所示， y 表示归一化值，范围为 0~5， x 表示实际值，范围为 10~20， $x=-10$ 时 $y=0$ ， $x=20$ 时 $y=5$)。

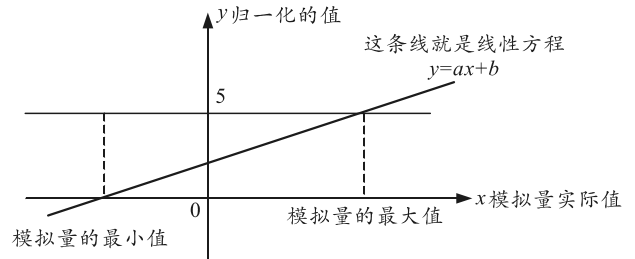


图 2 模拟量归一化原理

当遥测将 0~5 的值发送给地面遥测后,地面遥测需要还原模拟量的实际值,则需要用户提供还原的线性方程参数,通过 $y=ax+b$ 得到还原的计算方程式 $x=(y-b)/a=(1/a)y+(-b/a)$, 这里 $(1/a)$ 用字段 VKa 表示, $(-b/a)$ 用字段 VKo 表示, 这 2 个参数由用户提供。

如图 3 所示, 程序设计时, 需要将帧中模拟量的归一化的值(0~5)通过 $x=(1/a)y+(-b/a)=VKa \times y+VKo$ 换算为实际值, 即电压值= $VKa \times$ 归一化遥测值+ VKo 。

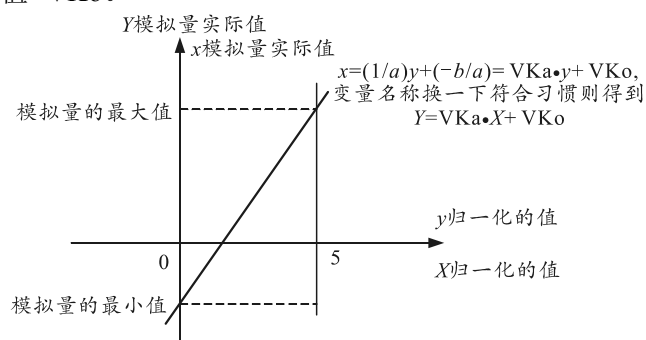


图 3 模拟量还原的原理

数字量的数据还原通过用户提供的 LSB 分辨率与解析所得数据相乘即可。

2 软件流程设计

遥测设备录取的参数会因产品型号的不同而有所差异, 可通过波道数据库管理遥测数据格式以及各个参数的波道分布, 在参数特性数据库中存储各个信号量的量程范围和归一化值, 以此来计算还原模拟量和数字量^[7], 为后续图形处理提供依据。软件在处理时所用通用化的思想可以概括为: 根据遥测系统设计的遥测数据格式分析每一帧的起止时间和信号量所在每帧的位置, 生成预处理文件, 再根据各个信号量的波道分布, 将每个参数的还原系数从遥测数据中提取出来, 还原成遥测设备录取前的原始物理量的过程。

如图 4 所示, 整个流程主要分为数据关联、预处理以及图形显示 3 部分。数据关联部分主要实现新建项目, 并将波道数据库、参数特性数据库以及遥测地面设备录取的 .dat 数据文件添加至系统中, 让系统识别文件所在的路径。

在预处理部分, 会将地面站时钟码(录取数据时植入)和遥测结构表分离, 并通过时间码逐帧进行检错, 同时根据纠错后的时间码和子帧周期, 对全部遥测数据进行漏帧检查。对于每个数字量, 程序会提取形成独立的数据文件, 并根据数字量每帧中遥

测周期的帧序号与子帧序号, 确定数字量测量的相对时间, 包括起始时间、终止时间、时间长度以及漏帧数据段的位置。

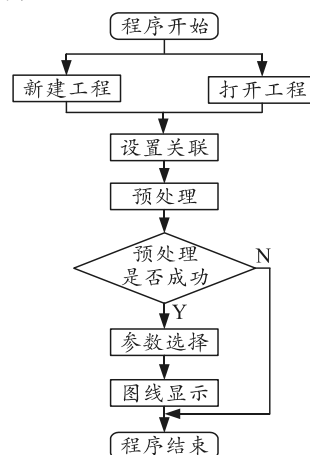


图 4 程序运行流程

生成预处理报告后, 用户可选择一个或多个遥测数据文件中的参数进行显示, 程序会从内存中提取参数对应波道的数据点和相应的时间值, 搜索参数特性数据库中的归一化系数还原成实际的物理量值, 通过计算最终输出物理量曲线图。如图 5 所示, 采用一图多线的方式显示 3 个信号量参数的图形。

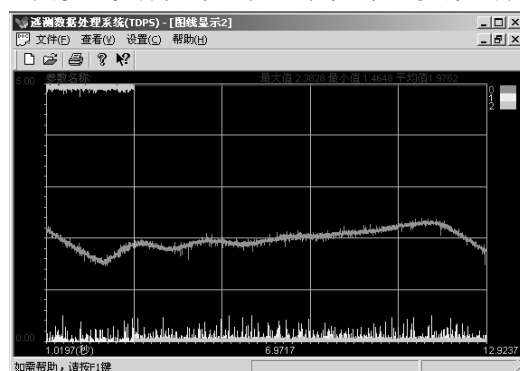


图 5 遥测数据处理软件显示界面

3 特殊情况分析与展望

3.1 数字量出现在副帧中

在总体需求设计前期, 副帧中仅考虑存放模拟量, 所以现阶段的程序和数据库设计没有考虑数字量出现在副帧中的情况, 在主波道不够使用而将数字量放在副帧中时, 当前软件不能正确处理。

针对该问题, 需要对数据库和程序进行改进, 可在数据库中添加数字量的位置标志信息, 标识出数字量是存放在主波道中还是副帧中, 代码中添加对数字量存放在副帧中的处理, 按照数字量所在的副帧 ID 码和所在的位置进行提取处理。

仿真研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2013, 8(2): 119-124.

[14] BURTON R L, TURCHI P J. Pulsed Plasma Thruster[J]. Journal of Propulsion & Power, 1998, 14(5): 716-735.

[15] MYERS R M, OLESON S R, MCGUIRE M, et al. Pulsed Plasma Thruster Technology for Small Satellite Missions[C]. 9th Annual Small Satellite Conference, September 1995.

[16] MCGUIRE M L, ROGER M. MYERS. Pulsed Plasma Thrusters for Small Spacecraft Attitude Control[C]. NASA/GSFC Flight Mechanics/Estimation Theory Symposium, 1996.

[17] EHSAN S T, KHASHAYAR K H. 非线性系统故障诊断的混合方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2014.

[18] 郑安平. 基于 PID 神经网络的三自由度飞行器模型控制研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2008.

[19] POURSAMAD A. Adaptive feedback linearization

control of antilock braking systems using neural networks[J]. Mechatronics, 2009, 19(5): 767-773.

[20] SHAIK F A, PURWAR S, PRATAP B. Real-time implementation of Chebyshev neural network observer for twin rotor control system[J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(10): 13043-13049.

[21] 李雪玲. 二自由度飞行姿态模拟器的增益调度控制系统设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.

[22] 汤文. 二自由度飞行姿态模拟器控制系统设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.

[23] 郑博, 钟宜生. 一类 Quanser 直升机的鲁棒姿态调节器设计[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2011(3): 323-327.

[24] CASSADY R J, MECKEL N J, HOSKINS W A, et al. Pulsed Plasma Thruster Systems for Spacecraft Attitude Control[C]. 10 th AIAA/USU Conference on Small Satellites, September 1996.

(上接第 43 页)

3.2 数字量在不同阶段周期不一致

如果遥测软件分析的是完整的遥测帧(即包含所有数字量和模拟量的数据包),在对该问题时不受影响。程序在处理时依靠提取地面接收站的时间码以及识别每一路数字量的帧头,能确定该路数字量的起点和终点。即使该路数字量在被测物体弹动前和弹动后的周期不一致,程序也能正确找准时间点。然而,如果用户是在实验仿真阶段,仅关注某一路数字量的状态,这时的.dat 数据文件中没有时间码信息,需要根据每一帧的周期来确定时间信息。针对此类情况,数据库中首先要对不同阶段的数据加以标识,并在代码中添加前后周期不一致的数据提取处理过程。

4 结束语

遥测数据处理软件从最初的一个型号产品一个版本,到现阶段的多型号一版通用,历经了多轮的修改与优化。将通用化的思想融入软件的设计与实现中,解决了先前的参数化水平低下,产品与产品间技术继承度不够而导致的维护成本高、工作费时

费力问题。尽管笔者的研究取得了阶段性成果,但如第 3 章所述,在用户使用过程中也会偶尔碰到一些特殊的需求,后续将会围绕这些问题对遥测数据处理软件进一步优化,将产品化、工程化的思想贯穿于研制、应用的过程中。

参考文献:

[1] 仇颖文. 通用导弹遥测数据处理平台的研究及应用[D]. 上海: 上海交通大学, 2007: 2-3.

[2] 王瑞成. 遥测数据处理方法研究与系统实现[D]. 兰州: 兰州大学, 2017: 2-3.

[3] 史伟娜, 马卫东, 刘志. 一种基于在线编译的遥测事后数据处理通用平台[J]. 兵工自动化, 2017, 36(2): 61-65.

[4] 杜莹, 王飞, 孙超, 等. 基于多分布特征的航天器遥测动态加权异常检测算法[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(7): 98-105.

[5] 赵冰, 王天泉, 樊鹏飞. 基于遥测参数的雷达寻的反舰导弹脱靶量估算方法[J]. 兵工自动化, 2016, 35(5): 8-11.

[6] 于长海, 许圣涛, 石玉华. 多站遥测数据处理中的数据融合方法研究[J]. 遥测遥控, 2018, 39(1): 47-56.

[7] 岳铁林. 通用遥测数据处理平台及外弹道估计方法研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2011: 15-26.