

卫星遥测数据处理软件的 Excel VBA 实现

杨 亭¹, 常 霞¹, 粘丹妮²

(1. 北京空间机电研究所, 北京 100094; 2. 北京空间飞行器总体设计部, 北京 100094)

摘要: 为解决航天领域遥测数据处理复杂、判读困难的问题, 采用 Excel VBA 技术, 设计了一种卫星遥测数据处理软件, 利用该软件可以很方便地对卫星遥测数据进行分析 and 判读, 得到各遥测量的曲线显示及变化状态, 并能给出遥测异常时的报警信息; 该软件运行于通用计算机平台, 需要 Office、Excel 支持, 它包括卫星遥测数据的处理分析和遥测数据的曲线显示两大部分; 该数据处理软件的使用为卫星遥测数据处理提供了一种新方法, 实现了卫星遥测数据处理自动化处理和判读, 大大提高了卫星遥测数据的分析判读效率, 该软件现已成功应用于某型号卫星的遥测数据分析系统。

关键词: Excel 宏; VBA; 卫星遥测; 数据处理; 曲线显示

Excel VBA Technique Used for Satellite Telemetry Data Processing

Yang Ting¹, Chang Xia¹, Nian Danni²

(1. Beijing Institute of Space Mechanics and Electricity, Beijing 100094, China;

2. Beijing Institute of Spacecraft System Engineering, Beijing 100094, China)

Abstract: In order to solve aerospace telemetry data processing, interpretation of complex difficult problem, using Excel VBA technology, a data processing software is designed by using satellite remote sensing, the software can be very convenient to analysis and interpretation of satellite telemetry data, the remote measurement curve display and change state, and can alarm information given telemetry is abnormal. The software running on general computer platform, Office Excel support, which comprises a processing analysis and satellite telemetry data curve display. The data processing software is used to provide a new method of satellite telemetry data processing, automatic processing and interpretation of the data processing of satellite telemetry, greatly improving the analysis of satellite telemetry data interpretation efficiency, telemetry data of the software has been successfully applied to a certain type of satellite analysis system.

Keywords: Excel macro; VBA; satellite telemetry; data processing; curve display

0 引言

卫星遥感的作用是远距离获得客观世界(实体, 即目标、区域和现象)的有关信息^[1], 而卫星遥测是指将遥感系统中被测对象的电压、电流、温度、湿度及振动等参数采集并下传到地面监测, 这些参数是卫星遥感系统是否正常工作的重要依据。通过分析发现, 遥测数据的类型主要包括缓慢变化、周期变化、突变以及以上几种变化的集合^[2]。目前在航天型号中, 多数传感器的遥测依旧采用人工分析和判读数据, 这种方法存在效率低下、耗费大量的人力物力的问题, 所以有必要通过计算机软件自动处理遥测的方式建立一种遥测量曲线显示的直观方法, 进一步分析其变化趋势、统计工作状态、判断是否异常以及遥测量变化时的相互关联情况。

1 遥测数据处理过程

现有整星测试中的遥测数据获取途径一般就利用常规遥测下行信道, 即: 星载数管分系统通过数管计算机的专用遥测接口, 将遥测数据以基带信号形式输出, 经过编码和副载波调制送给测控应答机, 经载波调制后通过无线通道送给地面测试设备^[3]。遥测数据作用主要有几个方面: 验证卫星设计参数、监测卫星运行状态、排查卫星故障、获取试验数据、辅助其他测

量设备测试。卫星遥测数据的很多遥测参数处理方法相同或类似, 根据其特性分为几大类: 模拟遥测量(AN量)、数字遥测量(DS量)、温度遥测量(TH量)、双电平遥测量(BL量)。

数据处理平台对遥测数据按照卫星分系统遥测数据组成进行分类处理, 比对处理结果与仿真数据, 进行异常自动报警和图形显示^[4]。星载遥测数据处理的过程如图1所示。

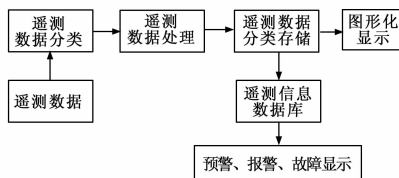


图1 星载遥测数据处理的过程图

星载遥测数据处理的过程主要包括以下几个方面:

- 1) 建立遥测数据库;
- 2) 建立动态判断基准, 形成比对基准库, 实现遥测数据分类;
- 3) 实现实时在线检测和离线处理, 增强系统遥测信息处理功能选配、灵活调整等能力, 满足不同场合监视分析应用要求;
- 4) 实现遥测信息自动检测, 建立遥测异常直观显示, 为故障诊断、分析定位提供科学的参考;
- 5) 实现报警显示, 增加遥测信息状态显示的直观性, 提高信息获取能力。

收稿日期: 2014-01-16; 修回日期: 2014-03-25。

作者简介: 杨 亭(1982-), 男, 湖北省荆门市人, 学士, 工程师, 主要从事空间光学传感器总体技术、控制技术及光电技术方向的研究。

2 软件原理及软件流程

VBA (Visual Basic for Applications) 是 Microsoft 提供给应用程序员基于 ActiveX 技术面向对象的应用程序开发工具, 其强大的功能为应用程序的二次开发提供了一个优秀的手段^[5]。VBA 不但继承了 VB 的开发机制, 而且还具有与 VB 相似的语言结构, 它们的集成开发环境也基本相同, VBA 的项目 (Project) 需要由使用 VBA 的 Excel、Word、PowerPoint 等称为宿主 (Host) 的 Office 应用程序 (Application) 来调用^[6-7]。

Excel 启动时, 自动加载 Start up 下的模板和 Normal. dot 模板, 以及它们所包含的宏。为了运行编写的用户宏, 可以将其重新命名为特殊的名称, 使其变为自动宏, 如表 1 所示。

表 1 Excel 中的自动宏及其作用

宏名	运行条件	作用
AutoExec	启动 Excel 时	可以通过该宏在启动 Excel 时自动调用编写的程序
AutoOpen	打开文档时	可以通过该宏在打开文档时调用数据读取程序
AutoClose	关闭文档时	可以通过该宏在关闭文档时调用数据保存程序
AutoExit	退出 Excel 时	可以通过该宏在退出 Excel 时退出编写的程序

为了实现在打开 Excel 时自动读取卫星遥测数据文件, 采用 VBA 自带的文件读取函数 FileDialog 实现此功能, 将该函数封装在 AutoOpen 宏函数内, 这样在打开 Excel 文档时就自动弹出选择遥测文件的消息提示并读取遥测数据文件, 为进一步的遥测数据处理做准备。示例代码如下:

```

Sub AutoOpen()
MsgBox "XX-N 卫星遥测数据处理软件, 请选择遥测文件 *.XLS!", Title:="遥测数据处理软件"
Call FileDialogOpen '打开卫星遥测数据文件
Call HandleData '调用数据处理程序
End Sub

```

遥测文件打开后调用数据处理函数 HandleData, 该函数用于遥测数据的分析处理。卫星遥测数据处理软件流程图设计如图 2 所示。

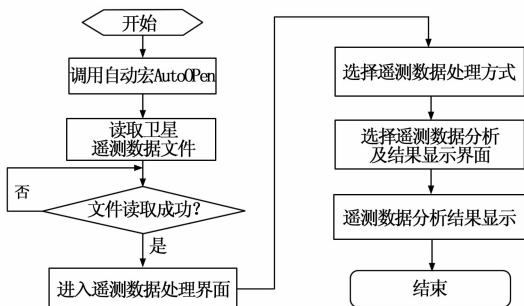


图 2 卫星遥测数据处理软件流程图

3 遥测数据处理软件

3.1 软件的功能描述

遥测数据处理软件首先需要对卫星遥测的分包数据进行解析, 提取出其中的有效遥测数据。分包遥测^[8-9]是一种以微处

理器为硬件基础, 采用数据包装的方法来控制和管理遥测数据及其传输的新一代遥测体制, 是将各个分系统的遥测数据块加上包头和包尾之后构成大小不同的数据包, 也称为源包, 然后卫星遥测数据处理软件需要对源包进行进一步的分析处理。根据卫星测试的要求, 遥测数据处理软件应包含以下功能:

3.1.1 自动对遥测数据包进行提取有效数据, 并给出原码值和物理量值

在卫星的地面测试过程中, 地面测试台模拟卫星对遥测数据进行存储, 如某卫星遥测的硬件接口采用 CAN 总线通讯, 遥测数据包由仲裁场、控制场和有效数据场组成, 如表 2 所示。遥测数据包协议规定: 一个数据包由 8 个数据帧组成, 其中每一帧均有自己单独的帧序号, 每一包的最后一帧数据里含校验和数据。如果校验和出错, 将通过仲裁协议重新传送该数据包, 以确保数据包通讯的正确性。卫星遥感器收到遥测轮询控制序列后, 向 CAN 总线发送遥测参数, 其中 W0~W(N-1) 为遥测数据包中的 N 个有效数据。

表 2 卫星遥感器遥测数据包格式

帧序号	仲裁场、控制场 (B1~B2)		有效数据场 (B3~B10)	
	B1	B2	B3	B10
1	8FH	68H	00	AAH 32H W0~W4
2	8FH	68H	01	W5~W11
3	8FH	68H	02	W12~W18
4	8FH	68H	03	W19~W25
5	8FH	68H	04	W26~W32
6	8FH	68H	05	W33~W39
7	8FH	68H	06	W40~W46
8	8FH	65H	07	W47~W52 SUM

由表 2 可见, 卫星遥测数据存储的数据格式包含了多个数据帧、校验数据、填充数据等, 真正有效的遥测数据只是数据包中的一部分, 该部分需要由软件根据数据包协议解析后得出遥测量的有效原始码值和物理量值。

3.1.2 自动给出部分关键遥测量的超限判断, 并生成日志文件

部分关键遥测量如电源电压遥测、电流遥测、工作状态遥测等, 由于其在工作过程中总会有小的扰动或变化, 但是需要检测其是否存在短时间的超限或异常, 通过软件设定该遥测量的上下限值, 通过遥测量和上下限值的比较, 并生成相应的日志文件, 这样数据处理结束后只需打开日志文件查看结果, 就能得到遥测量在某个时间段发生了超限或异常状态。

3.1.3 可自动描绘出选择遥测量的曲线, 支持多路遥测曲线的同时显示

由于卫星遥感器中某些遥测量需要观察其在一段时间内的变化趋势, 这就需要该遥测量在一段时间内的曲线显示功能。另外卫星遥感器中往往存在多路遥测量相互关联的现象, 比如工作状态和工作电流值、工作电压和工作电流值、温度和电流值等, 这些相互关联的遥测量有时候需要放在一起分析其相互影响关系。

3.1.4 计算遥感器热控加热状态, 如加热回路的占比等等

卫星遥感器的热控状态是通过一个 BL 遥测量来表示, 如 1 表示加热状态, 0 表示未加热状态。可以通过统计一段时间内该 BL 遥测量的 1 或 0 的个数来计算该段时间内加热回路的

占空比, 占空比反映了加热回路的加热状态。

3.2 软件的 EXCEL VBA 实现

以电源遥测和温度遥测为例来说明卫星遥测量软件处理的 EXCLE VBA 实现, 卫星电源遥测量是典型的 AN 量, 温度遥测为典型的 TH 量, 这两种遥测量的处理方式如表 3 所示。

表 3 卫星电源遥测和温度遥测处理方式表

序号	遥测名称	遥测类型	遥测处理方法
1	遥感器一次电压	AN	参数范围:00H~FFH 参数说明:0~5V 处理方法:5/255 * N 显示:小数点后保留两位
2	遥感器一次电流	AN	参数范围:00H~FFH 参数说明:0~5V 处理方法:5/255 * N 显示:小数点后保留两位
3	遥感器温度 1	TH	参数范围:0000H~FFFFH 参数说明:单位(°C) 处理方法:5/255 * N 显示:显示实际温度值
4	遥感器温度 2	TH	参数范围:0000H~FFFFH 参数说明:单位(°C) 处理方法:5/255 * N 显示:显示实际温度值

根据上述遥测信号处理方法, 编写宏函数 DYYC (row1, row2, RemoteMeasureType) 来实现在 Excel 中的数据处理, 其中 row1 和 row2 用来定义转换数据的始末行数, 一般始末行数对应的是一段时期的卫星遥测量, 可以根据这两个参数来选择需要时间段的卫星遥测数据及其处理结果。RemoteMeasureType 用于定义遥测处理方式, 默认遥测处理方式为物理量处理。软件宏函数的部分 VB 示例代码如下:

```
Public Const offset1 = 1 '电源遥测
'卫星电源遥测, AN 量
Worksheets("Sheet3"). Cells(1, offset1 + 1). Value = "电源遥测"
Worksheets("Sheet3"). Cells(1, offset1 + 2). Value = "遥感器一次电压"
Worksheets("Sheet3"). Cells(1, offset1 + 3). Value = ""
Worksheets("Sheet3"). Cells(1, offset1 + 10). Value = "遥感器一次电流"
Worksheets("Sheet3"). Cells(1, offset1 + 11). Value = ""
If RemoteMeasureType = 0 Then
For i=row1 To row2
'卫星遥感器电源遥测, AN 量
Worksheets("Sheet3"). Cells(i, offset1 + 2). Value = (Val("&H" & Worksheets("Sheet1"). Cells(i, offset1 + 10). Text) * 256 + Val("&H" & Worksheets("Sheet1"). Cells(i, offset1 + 11). Text))/100.0
Worksheets("Sheet3"). Cells(i, offset1 + 10). Value = (Val("&H" & Worksheets("Sheet1"). Cells(i, offset1 + 2). Text) * 256 + Val("&H" & Worksheets("Sheet1"). Cells(i, offset1 + 3). Text))/100.0
'卫星遥感器温度遥测, TH 量
Worksheets("Sheet2"). Cells(k, offset4 + 4). Value = Val("&H" & Worksheets("Sheet1"). Cells(i, offset4 + 4). Text) * 256 + Val("&H" & Worksheets("Sheet1"). Cells(i, offset4 + 5). Text)
```

```
Worksheets("Sheet2"). Cells(k, offset4 + 6). Value = Val("&H" & Worksheets("Sheet1"). Cells(i, offset4 + 6). Text) * 256 + Val("&H" & Worksheets("Sheet1"). Cells(i, offset4 + 7). Text)
Next i
End If
```

3.3 软件的测试结果

卫星遥测数据的采样率为 1 s, 为了得到一段时间内的遥测数据分析结果, 需要手动在软件的转换行数里填入所需要的遥测采集时间。遥测数据处理软件根据遥测类型及相互关联情况, 可自定义选择不同遥测量的多种曲线相关显示, 并在日志文件中显示检测处理结果。

以 2 000 s 时间范围内卫星一次电源遥测和一次电流遥测为例, 卫星一次电源采用的是 28 V 直流电源, 本工作状态下的—次电流不超过 10 A。图 3 显示的是卫星一次电源遥测和—次电流遥测的两路相关曲线, 由图中可见, 卫星—次电源稳定在 28 V, 而—次电流呈现一定的波动状态, 这种电流的波动和负载的特性状态相关, 与设计值小于 10 A 也相符合, 据此可以判断—次电压和—次电流工作正常。

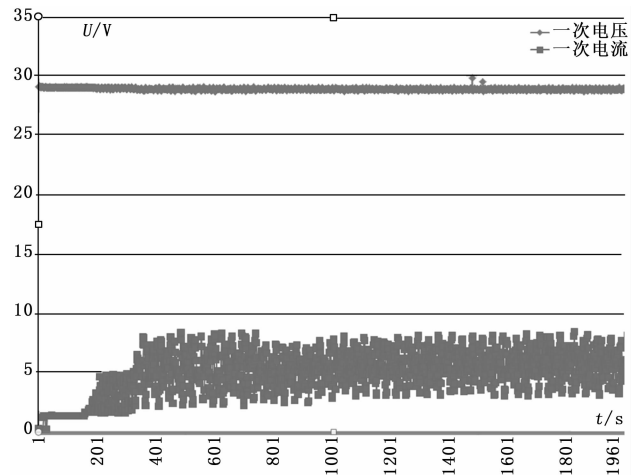


图 3 卫星一次电源和—次电流遥测曲线图

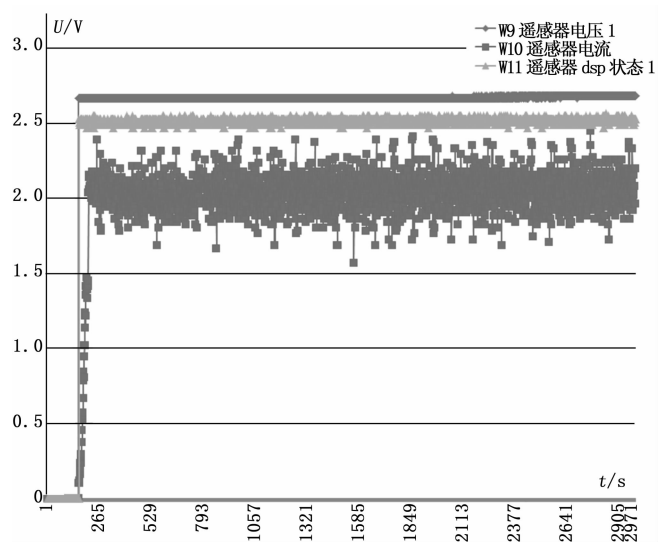


图 4 遥感器电压 1、电流 1、DSP 状态 1 遥测曲线图

控制逻辑和控制律结构的正确完备性。

5.2.2 自主导航飞行仿真试验

自主导航飞行仿真试验是检验无人机飞行控制软件飞行控制品质的主要手段^[9], 它需要各任务的协调配合, 对系统实时性和可靠性要求高。自主飞行过程中, 可以通过地面遥控遥测软件对无人机航迹、高度跟踪能力进行实时观测。根据遥控遥测软件记录的位置信息绘制了自主飞行航迹曲线 (图 8), 另外, 通过 FlightGear 三维视景动画可以直观地显示当前无人机的飞行品质。从航迹跟踪的效果来看, 自主飞行仿真过程中实际飞行航路与预设航路吻合, 高度差保持在容忍范围以内 ($\pm 3\text{ m}$), 各任务的调度频率和时序也正常, 在满足实时多任务软件设计要求的前提下, 达到了飞行控制软件设计的控制目标。

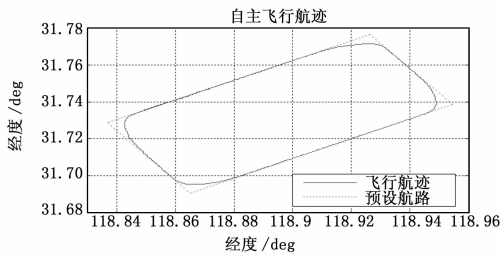


图 8 自主飞行航迹曲线

6 结束语

小型无人机功能复杂, 飞行过程中受外界环境等不确定性因素影响较大, 实时多任务操作系统能够以更加优化的策略来

管理软硬件资源, 不仅满足飞行控制软件对实时性和可靠性的要求, 而且提高了软件的模块化程度、可维护性和可移植性。因此, 使用实时操作系统来设计开发小型无人机飞行控制软件必将成为未来的一种趋势。

参考文献:

- [1] 陈天华, 郭培源. 小型无人机自主飞行控制系统的实现 [J]. 航天控制, 2006, 24 (5): 86-90.
- [2] 马晓宁, 房建成, 盛蔚. 基于 VxWorks 的 MUAV 飞行控制系统设计 [J]. 传感器与微系统, 2009, 28 (5): 90-93.
- [3] Pongpunwattana A, Rysdyk R. Real-time planning for multiple autonomous vehicles in dynamic uncertain environments [J]. Journal of Aerospace Computing, Information and Communication, 2004, 1 (12): 580-604.
- [4] 武华, 刘军伟. 基于 VxWorks 的多任务程序设计 [J]. 计算机技术与发展, 2011, 21 (9): 163-166.
- [5] 张治生, 陈怀民, 吴成富, 等. 小型无人机飞控系统软件可靠性设计与建模研究 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (6): 1489-1492.
- [6] WindRiver System Inc. The VxWorks BSP Developer's Guide 5. 5 [Z]. 2003.
- [7] 刘大明, 李海明. 基于 VxWorks 嵌入式系统下的实时性研究 [J]. 核电子学与探测技术, 2011, 31 (2): 139-142.
- [8] Sorton E F, Hammaker S. Simulated flight testing of an autonomous unmanned aerial vehicle using flightgear [J]. Arlington, VA, AIAA, 2005, 7083.
- [9] 耿通番. 无人机实时飞行仿真平台设计 [J]. 南京航空航天大学学报, 2009, 41 (B12): 34-37.

(上接第 2679 页)

同样, 图 4 显示的是遥感器电压 1、电流 1、DSP 工作状态的三路遥测曲线, 遥感器电压 1 的正常范围是 $2.5\text{ V} \pm 0.5\text{ V}$, 电流正常范围小于 3 A , DSP 工作状态的正常范围是 $2.5\text{ V} \pm 0.5\text{ V}$ 。由图中可以清晰地看出, 遥感器工作电压正常, 工作电流在正常范围内波动, DSP 工作状态也正常。据此可以判断, 卫星上该遥感器的工作正常。

总之, 通过卫星遥测的图形化显示, 以及异常报警信息和日志的输出, 可以清晰地反映出卫星在一定工作时间段内的工作状态和各遥测量的相互关联情况。通过遥测数据处理软件自动化存储、判别、报警, 也方便了测试工作者对遥测数据及故障的查找、回溯、定位, 提高了卫星遥测数据的故障识别和判读效率, 为后续开发应用于航天遥感器的自动化测试系统^[10]提供了新思路。

4 结论

本文采用 Microsoft VBA 技术, 描述了一种用于卫星遥测数据处理的新手段, 构建了基于 VBA 技术的卫星遥测数据处理软件, 详述了其组成原理及实现方式, 并给出了其在卫星遥测数据处理过程中的实例应用。本设计原理简单、开发周期短, 满足了实际航天工程中的应用需求。目前, 此软件已成功应用于某航天型号的数据处理分析平台中。

参考文献:

- [1] 陈世平. 关于航天遥感的若干问题 [J]. 航天返回与遥感, 2011, 32 (3): 1-8.
- [2] 房长征, 马好东, 罗凯, 等. 基于遥测数据的航天器长期性能预示方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (7): 1792-1796.
- [3] 郭坚, 张猛, 赵蕾. 一种用于航天器飞控演练的数管模拟器设计 [J]. 航天器工程, 2011, 20 (2): 35-40.
- [4] 单长胜, 李于衡, 王荔斌. 在轨卫星异常报警和故障诊断方法研究 [J]. 飞行器测控学报, 2011, 30 (3): 6-10.
- [5] 张岫. Excel VBA 入门与典型实例 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 1-2.
- [6] 赵志东. EXCEL VBA 基础入门 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.
- [7] Davis G H. VBA 从入门到精通 (第二版) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008: 288-301.
- [8] 杜冬梅. 航天器 CCSDS 遥测数据包处理方法研究 [J]. 电讯技术, 2007, 47 (2): 176-180.
- [9] 杜国明, 陈逢田. CCSDS 遥测包处理分析 [J]. 航天器工程, 2007, 16 (5): 110-114.
- [10] 杨召, 肖明清, 胡斌, 等. 国外航空自动测试描述语言发展综述 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (4): 833-836.