

航天器器-地对应仪表显示系统软件的设计与实现

黄连兵, 陈晓光, 赵攀

(中国空间技术研究院 载人航天总体部, 北京 100094)

摘要: 仪表显示系统作为航天器性能参数、导航参数显示及航天员人机交互的窗口, 在航天飞行任务中发挥着重要作用。针对依据工程遥测源码值监视航天器状态的传统方法直观性差、不便于地面人员监控的特点, 文章设计并开发了一套基于 VC++ 和 OpenGL 的航天器器-地对应仪表显示系统软件, 并对其实现进行了分析和说明。该软件仿真了多功能仪表显示器, 实现了航天器仪表参数、报警信息及设备操作信息的显示等诸多功能, 已成功应用于航天器在轨飞行时的地面监控。

关键词: 航天器; 仪表显示系统; 虚拟仪器; 遥测; 软件设计

中图分类号: V441

文献标识码: B

文章编号: 1673-1379(2011)06-0540-05

DOI: 10.3969/j.issn.1673-1379.2011.06.007

0 引言

在航天飞行任务中, 仪表显示设备具有参数显示、参数越限状态自动判断、报警信息显示、时间显示及视频图像显示等诸多功能, 是航天器性能参数、各分系统参数显示及航天员人机交互的窗口。当航天器在轨飞行时, 为使地面控制人员能实时掌握航天器在轨飞行信息, 地面控制中心的显示系统需提供具有与器上设备相同功能和外观的显示仪表, 以保证地面对航天器的有效监控。

通常情况下, 仪表系统通过监视回传地面的工程遥测源码数据, 按照判读准则来监视航天器上设备的实际工作情况。然而, 该方式要求监控人员具有较强的专业技能, 尤其是要熟练掌握判读准则。这就使得地面控制人员对航天器在轨飞行状态缺少直观、快速的判读手段, 面临以下几个需要解决的问题:

- 1) 仪表显示的数字量参数的组合方式多样, 如何实现快速判读;
- 2) 如何有选择地监视特定的页面情况和特定的参数;
- 3) 如何实时监视设备的操作信息;
- 4) 一旦出现故障或可疑之处, 如何快速定位;
- 5) 如何实现器-地对应显示的实时性、直观性

和准确性, 以及重要信息的分类提取、监视与保存。

针对上述需求, 设计并开发一套器-地对应仪表显示系统软件, 对于实时监视航天器在轨飞行状态以及后续的航天任务都具有十分重要的意义。

目前, 国内外已有多种虚拟仪表的实现方式, 例如利用 MutiGen Creator, GL Studio^[1-2], VAPS^[3]等各种商业软件来生成。这些方式具有工作效率高、源代码开发少等优点, 但需要一定的硬件环境支持^[4], 费用很高。航天器显示仪表应具有可靠性高、界面较为简单的特点, 因此, 在 Windows VC++ 开发环境下, 采用 MFC (Microsoft Foundation Class) 框架、控件技术和 OpenGL 开发设计的软件可以完全满足需要, 并且实时性、可靠性和可移植性都较好^[5-6]。

1 软件原理与功能需求

如图 1 所示, 航天器的遥测数据源码通过主处理器 (MTP) 进入器-地对应仪表显示系统软件, 并已将数据源码处理成工程值。软件根据订阅服务器 (RTS) 提供的数据和指令, 利用知识库中的规则完成数据判读与反解汉化并实时显示。图中标识的 2 个主要数据流分别为参数流和指令流。

航天器器-地对应显示仪表设计需完成的目标

收稿日期: 2011-10-25; 修回日期: 2011-11-14

基金项目: 国家重大科技专项工程

作者简介: 黄连兵 (1984—), 男, 硕士学位, 主要从事载人航天器仪表系统的研究与设计工作。E-mail: huanglianbin110@sina.com.

是：将航天器在轨飞行状态信息详尽、合理地显示在仪表面板上，保证地面控制中心人员能快速、直观地掌握航天器的实时飞行状态，并针对引言中列举的几个问题提供软件解决方案。具体应实现：

1) 仪表系统显示器的器-地对对应页面显示功能。包括飞行阶段显示、飞行模式显示、时间显示及各分系统参数页面显示等。

2) 仪表系统工况监视功能。将多状态数字量转化为易监视的状态量，设计一个工况回传页面，在系统顶层的固定区域保持显示，从而使测试人员只需监视状态量的颜色变化，就可以直观、快速地判断设备及设备间的工作状态。

3) 航天器上设备操作监视功能。通过设计页面锁定功能和反解数据回传信息，获取航天员对航天器上设备的操作信息。

4) 设备指令监视功能。针对设备指令多、发送间隔短的特点，设置列表记录指令发送顺序、发送时间以及指令的反解汉化后内容，使地面控制中心人员能更直观、快速地监测指令匹配的正确性。

5) 注入文件校核功能。设计特定的显示页面实时监控上行注入文件的内容等信息，同时保存文件更新回传信息，以便进行文件校核，确保上行文件的正确性。

6) 重要信息分类显示与保存功能。保存数据源码、报警信息及指令信息等。

7) 人机交互功能。实现指示灯颜色交互，并对重要事件、重要参数以及整个航天器飞行过程的信息进行拷屏记录。

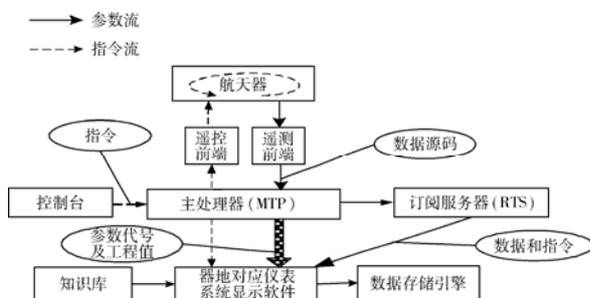


图 1 仪表显示系统软件原理图
Fig. 1 Principle of the software for instrument display system

2 软件架构

本文根据系统需求，建立了软件总体架构，梳理了功能模块间的关系，定义了各功能模块的接

口，设计了全局数据结构。整个软件的架构如图 2 所示。软件在 MFC 框架下，采用消息处理机制，根据航天器仪表显示系统特点，选择了用户界面线程的方式来实现。程序中设计了多个顶层(top-level)窗口，每一个显示页面开启一个对应的线程，并从主线程里创建并管理这些窗口。多线程环境可能使多条程序指令在同一时刻访问同一数据块和资源，导致锁死 (deadlock)、无限期延迟 (indefinite postponement) 以及数据竞争 (data race)。解决这些问题都需要在程序设计中利用关键代码技术设置好线程同步，实现网络数据传输^[7]。

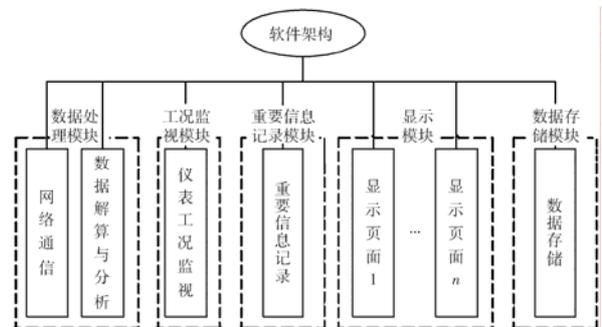


图 2 仪表显示系统软件架构
Fig. 2 Architecture of the software for instrument display system

3 软件具体设计与实现

3.1 数据处理模块

3.1.1 网络通信

应用程序调用 Winsock API 可方便地实现网络通信，仅与网络编程界面 (socket) 交互即可。基于 Winsock 编程时，根据测试网络的实际情况，通过向服务器发送特定格式的订阅消息建立通信后，客户计算机可实时从网络获取数据，具体流程见图 3。



图 3 网络通信图

Fig. 3 Network communications

3.1.2 数据解算与分析

软件获得网络数据包之后,截取出有效数据,依据知识库提供的判据,进行解算与分析,并将解算结果存储于数据块中,作为其他线程的数据接口。

3.2 页面显示模块

页面显示模块包括与航天器上仪表显示设备严格一一对应的各个显示页面,并对页面切换设计了锁定功能。当页面切换处于锁定状态时,页面跟随航天器上设备的实际页面切换;仅当页面切换处于解锁状态时,地面监视人员才能切换至任意页面实时监控各个参数。

显示页面的固定与切换可以通过重载 `OnSelchangeTab` 控件来实现,其所见即所得的方式可以很好地统一调整页面的大小,大大减少了代码量,并在主线程里创建并管理这些窗口。对于比较复杂的仪表(如导航仪等)可以采用 `OpenGL` 函数绘制,绘图时应注意以下2方面的问题:

1) 导航仪动态显示时(如偏航、俯仰与滚动等)会出现锯齿走样现象,可用 `OpenGL` 中的反走样技术来解决。`OpenGL` 中可用低饱和度点填补之前的边界锯齿部分,从而实现反走样,达到平滑边界的效果^[8]。

2) 如果使用重绘函数,刷新固定区域会出现闪屏现象,可以使用双缓冲技术来确保导航仪的动态显示不闪屏。因此,必须在制图之前设置显示设备的位图格式(`PixelFormat`)属性^[8]。

3.3 仪表工况监视模块

仪表工况监视模块的作用是监视仪表系统各个设备的硬件及软件工作状态。考虑到工况信息的重要性,将工况监视页面设计为顶层,以便地面监视人员可以实时监视仪表系统的工作状态。

仪表系统工作状态显示全部设计为指示灯形式,绿色表示正常,咖啡色表示异常。这是因为,一方面人眼对瞬间跳变数字信息不敏感,如果出现不反复瞬间跳变,很容易造成数据漏判,给航天器在轨飞行带来隐患;另一方面,仪表设备工作状态复杂多变,数字量组合方式多样,令地面监视人员难以实时判读。软件中将正常工况全部统一用绿色指示灯显示,可以更加直观地反映出当前的状态信

息,给地面监视人员以醒目的提示。软件用绘图函数 `OnPaint()` 来绘制指示灯并改变颜色,用定时器函数 `OnTimer()` 来判断设备工作状态,并调用函数 `InvalidateRect()` 来重绘页面。

另外,对于提醒地面监视人员出现新信息的指示灯增加了人机交互功能,目的是为了监测重复出现的同类信息。以总线指令指示灯为例,当总线上有新的指令出现时,指示灯变成咖啡色,表示已收到新的总线指令,地面监视人员确认当时状态正确后,可以用鼠标单击指示灯,指示灯即恢复为绿色;待下一条新的总线指令出现时,指示灯又从绿色变成咖啡色。该功能通过鼠标响应消息函数 `OnMouseMove()` 来实现。

3.4 重要信息显示模块

仪表系统中的一些重要参数与指令具有数目多、更新频率快及工程遥测源码长的特点,因此,在系统顶层设置了逆序滚动消息列表,并显示指令执行的时间,从而可以直观、实时地监视仪表系统各个设备重要参数及指令执行过程。消息列表用 `LIST` 控件来实现,将 `CTabCtrl::InsertItem()` 函数的第1个参数设置为0,来实现逆序滚动。

3.5 数据存储模块

为保存航天器飞行数据,便于快速查询,设计了数据存储模块,存储数据包括工程遥测源码值、指令信息、重要信息、设备工作信息及拷屏图片。数据以天为单位,用时间命名存储在固定的文件夹中;工程遥测源码数据以2000帧为单位分段存储;注入文件信息单独存储以便校核。

3.6 附加功能模块

航天器在轨飞行过程中,有时需要保存页面信息,如报警信息、过程数据记录或异常信息等,附加功能模块为此设计了截屏功能。单击拷屏按钮可以实现单次拷屏,并将拷屏图片以时间命名保存在固定的路径下;当页面信息快速变化时,启动定时拷屏功能以完整地记录测试过程,达到类似于录像的效果。该模块设计有效地提高了监视效率,最终以少量的人工参与提取地面监视人员感兴趣的信息,从而节约了存储空间。

3.7 软件数据驱动流程

用 Win32 API 中的 CreateThread() 函数在进程中再创建一个线程, 主要用来读取网络数据; 同时设置全局变量, 把接收的数据传到全局变量中。

主线程不断地读取数据来驱动各个功能模块。采用 OnPaint() 函数来重绘页面, 定时器 OnTimer() 函数来定时监测重要数据更新。软件信息流图见图 4。

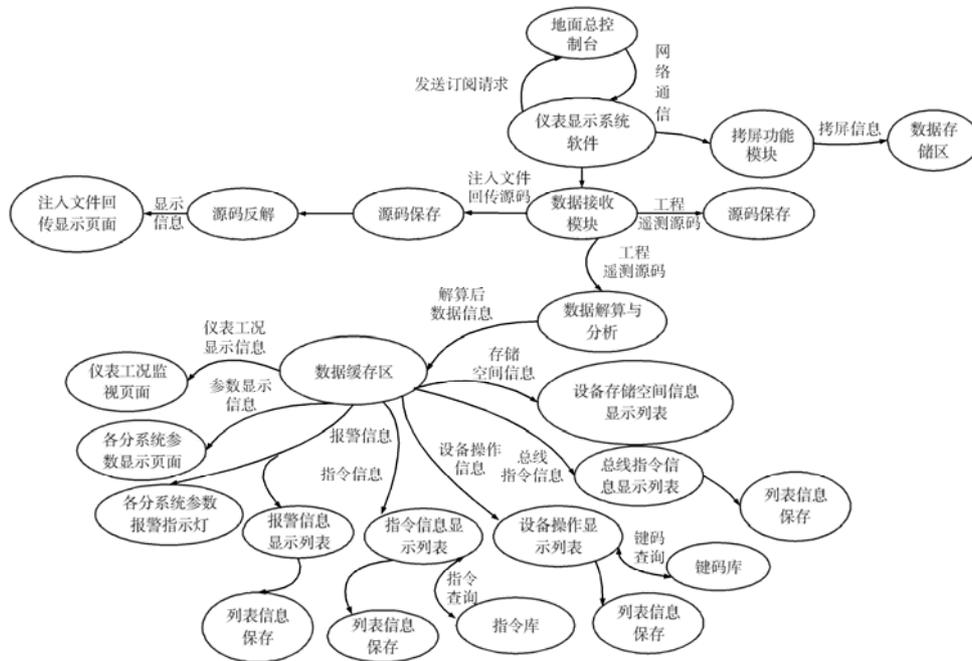


图 4 软件信息流图

Fig. 4 Flow chart of the software information

4 应用效果

本文介绍的仪表显示软件设计已成功应用于航天器地面测试和在轨飞行时的地面监控过程, 并针对监控过程中的具体情况进行了多项设计与改进, 提高了实时性、直观性和便捷性等。比如, 软件可实现当器上设备出现报警信息时, 自动切换至与器上设备对应的软件页面, 快速确定超限参数信息, 并通过拷屏功能对报警过程进行记录。与通过复查数据库源码并进行人工解算的方式相比, 仪表显示系统软件可提高航天器在轨飞行时地面监控的工作效率、自动化水平与信息判读准确率。

5 结束语

根据本文介绍的方法设计的航天器-地对对应仪表显示系统软件, 再现了航天器上仪表设备的诸多功能, 并对地面测试过程中的各种重要信息进行了专门设计, 有效实现了提高仿真实时性以及重要信息分类显示与存储等功能。与同类仪表显示软件相比, 其功能性能更优, 满足了对航

天飞行任务进行实时监测的需求。该系统设计框架也可应用于其他同类测试场所, 以提高测试的自动化水平和准确性。

参考文献 (References)

- [1] 谢勇, 李治庆. GL Studio在飞机虚拟座舱实现中的应用[J]. 计算机时代, 2007(3)
- [2] 臧春杰, 孙传伟. 基于GL Studio的直升机座舱仿真仪表开发[C]//第二十三届全国直升机年会论文集, 2007
- [3] 王大勇. 基于VAPS下虚拟仪表开发[D]. 哈尔滨工业大学硕士学位论文, 2006
- [4] Padfield G D. Flight simulation in academia[C]// RAeS Conference, 2001: 1-5
- [5] 曹荣辉. 通用仪表软件开发平台[D]. 北京: 华北电力大学硕士学位论文, 2006
- [6] 姜鹏. 虚拟座舱系统设计[D]. 西安: 西北工业大学硕士学位论文, 2007
- [7] 邱仲潘, 柯渝, 何燕华, 等. Visual C++6 从入门到精通[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006
- [8] 白刚, 袁梅, 陈昉. 虚拟座舱多功能显示器的设计与实现[C]//北京航空航天大学第二届研究生学术论坛论文集, 2005

Design and realization of software for spacecraft instrument display system

Huang Lianbing, Chen Xiaoguang, Zhao Pan

(Institute of Manned Space System Engineering, China Academy of Space Technology, Beijing 100094, China)

Abstract: The instrument display system for spacecraft, as the window for monitoring the performance parameters, navigation parameters and astronaut's man-machine interactions, plays an important role in space missions. The traditional method to monitor the state of spacecraft is to monitor the engineering telemetry sound code, which is inconvenient for the ground control because of its poor audio-visual quality. In this paper, an instrument display software based on VC++ and OpenGL is designed and analyzed. This software simulates the multifunctional instrument display to realize the instrument's functions of displaying the parameter information, the warning message and the device operating information. The software has been successfully applied in the ground control center.

Key words: spacecraft; instrument display system; virtual instrument; telemetry; software design

技术沙龙

可靠性与环境工程技术重点实验室与 中国科学技术大学微尺度国家实验室开展学术交流

为贯彻重点实验室“开放、流动、联合、竞争”的方针，11月23日，可靠性与环境工程技术重点实验室北京卫星环境工程研究所分实验室（下简称重点实验室）与中国科学技术大学微尺度物质科学国家实验室进行了一次学术交流。

中国科学技术大学微尺度物质科学国家实验室（下简称国家实验室）是科技部2003年批准筹建的5个国家实验室之一，设有原子分子科学、纳米材料与化学、低维物理与化学等7个研究部和包含理化分析、低温强磁场、多尺度影像、微加工等平台的公共技术部。该实验室近年来在量子通信与调控、高温超导材料、纳米科学等领域取得了具有国际领先水平的进展，连续8年入选“中国十大科技进展”。

交流中，双方就空间环境下材料表面性质变化机理、环境效应探测和防护等方面达成了初步的合作意向。重点实验室代表参观了国家实验室固体氧化物燃料电池、冷原子痕量检测、量子物理与量子信息、低温强磁场、理化分析等实验室。

通过这次交流，重点实验室人员学习了国家实验室建设、管理经验，了解了彼此实验室的研究重点和潜在合作方向，为今后开展更为深入广泛的交流与合作奠定了基础。

（杨东升 供稿）