

小卫星星务管理软件的设计

廖明宏, 程光明, 吴翔虎

(哈尔滨工业大学 计算机科学与技术学院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 针对小卫星自主飞行和自主管理的要求, 以某小卫星为例, 介绍星务管理软件的基本功能、体系结构和系统设计。并对软件设计原则、多任务设计、数据通信、双机容错和故障诊断与处理作了较详细的讨论。充分利用多任务操作系统的能力, 在体系结构上, 将星务管理、姿控管理、数据通信和容错系统彩一体化设计, 在不影响正常飞行任务的前提下, 有效地提高系统的可靠性, 较好地解决了小卫星自主飞行和自主管理的难题。

关键词: 小卫星; 星务管理软件; 星载计算机

中图分类号: V423

文献标识码: A

文章编号: 0367-6234(2002)06-0753-04

Design of house keeping software for the small satellite

LIAO Ming-hong, CHENG Guang-ming, WU Xiang-hu

(School of Computer Science & Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: With the development of small satellite, housekeeping software is becoming more and more complex. To meet the requirement of automatic flying and management of small satellite, the main functions, architecture and the design of a certain small satellite are introduced. The principle of housekeeping software design, multi-task design, data communication, double computer fault diagnosing and processing are described in detail. Based on the powerful multi-task embedded operating system, the onboard computer management, attitude management, data communication and fault tolerance system are integrated designed. The reliability is improved and the difficult of automatic flying and management of small satellite is solved.

Key words: small satellite; housekeeping software; on-board computer

现代小卫星“更快、更好、更省”的优势和巨大的发展潜力已被越来越多的人所认识。一些国家正是看到小卫星及其应用领域的巨大潜在市场, 而将其列为跨世纪航天发展计划的重要内容。小卫星所带来的新观念、新设计思想和新技术路线为航天界注入了新的活力, 并将对未来整个航天技术的发展产生重要的影响^[1]。

目前还没有对小卫星下正式的定义, 各国对

小卫星的定义也不尽相同。普遍公认的准则是: 质量小于 500 kg、技术性能强、单价为几万美元至几千万美元的卫星, 称为小卫星; 质量在 10 kg 量级的小卫星称为微型卫星^[2,3]。

星载计算机系统是小卫星一个重要的组成部分, 它包括星载计算机硬件系统和软件系统两部分。星务管理软件是实现小卫星自主飞行、自主管理、提高小卫星安全性、可靠性的关键所在。充分应用星上计算机和电子系统集成技术, 开发软件功能, 尽量简化硬件系统, 可降低开发成本并提高系统的可靠性和灵活性。

可能出于技术上的保密, 也可能由于小卫星的研制还处于发展阶段, 有关小卫星星务管理软件设计的文献非常少。本文以正在研制的某小卫

收稿日期: 2000-08-24.

基金项目: 国家高技术研究发展计划资助项目(863-2-5-1-8); 哈尔滨工业大学跨学科交叉性研究基金资助项目(HIT MD.2001.01).

作者简介: 廖明宏(1966-), 男, 博士, 教授.

星为例,重点介绍星务管理软件的设计思想,抛砖引玉,让更多的学者撰文讨论这一重要专题,共同促进我国小卫星事业的发展.

1 基于一体化设计的小卫星模型

该小卫星是一种立体测绘科学试验卫星,主要用于对地照相,形成电子地图.在设计中集中体现了“一体化”的研制思想:尽可能地融合微电子、新材料、新工艺等高新技术成果,采用以星载计算机网络为核心的电子系统集成和以发挥软件功能为主体的自主星务管理技术,突破微小卫星高精度、高稳定度姿态控制等关键技术,充分借鉴国内的航天高技术成果与经验.主要技术指标如下:

- 本体尺寸: 910 mm × 890 mm × 960 mm;
- 卫星总质量: 150 kg, 其中有效载荷 62 kg;
- 卫星功耗: 128 W, 峰值 240 W;
- 飞行高度: 600 km;
- 发射方式: 搭载、一箭多星或小运载单独发射;
- 姿态控制: 动量轮、磁力矩器;
- 设计寿命: 2 a.

该星由 8 个分系统组成, 见图 1.

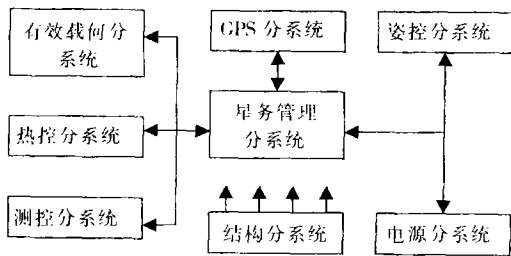


图1 系统结构
Fig. 1 System structure

其中:

- * 有效载荷分系统主要由三线阵 CCD 立体测绘相机组成. 用于对地照相, 并对数据进行压缩、存储和下传.
- * 热控分系统的功能是通过合理的热设计和热控制, 提供卫星舱内仪器设备正常工作所需的环境温度, 同时保证卫星表面所有设备工作在所需要的温度范围内.
- * 测控通信系统是星地联络的通道, 主要负责卫星与地面站之间的有效载荷数据和遥测、遥控信号的传输.
- * GPS 分系统的功能是为卫星自主地提供各种实时轨道数据, 包括三维位置和速度分量、轨

道六根数及经纬度, 满足卫星自主运行对轨道信息的要求. 同时, 为卫星提供 GPS 标准时间.

- * 电源分系统在卫星各个飞行阶段, 为卫星提供充足的直流功率, 并由电源变换器将一次母线电压变换成各系统所需要的电压.
- * 结构分系统负责对卫星总体布局的设计, 以保证各分系统的仪器设备在星体内外的安装精度和力学环境要求, 保证卫星有足够的刚度和强度.
- * 姿控分系统用于确定和控制卫星的姿态, 主要功能包括: 卫星在星箭分离后的速率阻尼、全方位对日捕获与对日定向、对地定向和对日定向三轴稳定、对日/对地双向姿态机动控制等.

* 星务管理分系统对星上各种资源进行自主管理, 按卫星飞行任务进行自主飞行管理, 并与地面站建立通路, 完成遥测遥控功能.

星务管理软件是星务管理功能的具体实现; 它是小卫星的灵魂所在, 在卫星设计中起着举足轻重的作用. 下面重点讨论星务管理软件的设计.

2 星上计算机系统与星务管理软件

小卫星上的计算机和各种控制器构成一个计算机网络系统, 该网络系统由 2 台 386EX 星载机及 4 个下位机通过 2 条 485 总线互联构成, 见图 2. 其通信方式采用以星载机为主, 下位机为辅的主从工作方式. 而两台星载机为双机备份方式工作.

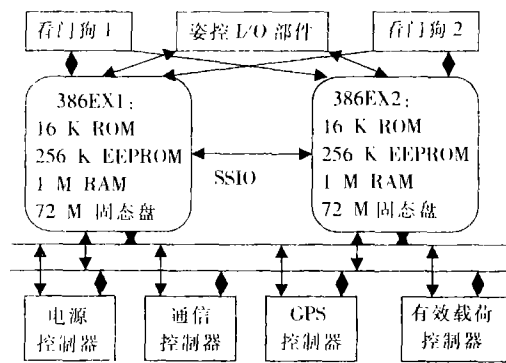


图2 星上计算机网络系统
Fig. 2 On-board computer network system

星载机的存储器包括: 16 K 的 ROM, 用于存放系统引导程序; 256 K 的 EEPROM, 用于存放应用程序; 1 M 的 RAM, 用于运行程序; 72 M 的固态硬盘: 用于存放遥测参数.

姿控 I/O 部件包括: 32 路 AD, 用于采集遥测参数; 8 路 DA 用于飞轮和磁力矩器控制; 9 个

8252 串口,用于采集陀螺、磁强计、星敏感器和太阳敏感器参数;2个8255并口,用于控制部件的开关;2个8254定时器,用于采集飞轮转速;1个单脉冲发生器用于火攻品开关等。

姿控软件和星务管理软件集成为同一个系统,运行在同一台星载机(主机)上,而另一台星载机(从机)运行系统监控软件。星务管理软件基本功能包括:

(1) 姿控管理:围绕姿态控制进行姿控 I/O 部件的采集和控制,定姿姿控计算,并根据飞行任务进行姿态自主调整等;

(2) 数据通信:实现星上计算机网络数据通信、卫星与地面站之间数据通信并能对遥测参数组帧下传和对上行的遥控命令解释执行功能;

(3) 星载计算机管理:管理整个星载机硬件系统,其中包括系统自检与引导、时钟管理、存储管理和看门狗管理等;

(4) 系统容错和故障诊断与处理:为提高系统的可靠性,采用双机备份的容错设计,并随时监视系统状态,对可预见的故障进行诊断与处理。

整个软件是以 pSOS 操作系统为基础,它是一个嵌入式实时多任务操作系统(在国内外的卫星设计中得到应用)。星务管理软件体系结构见图3。

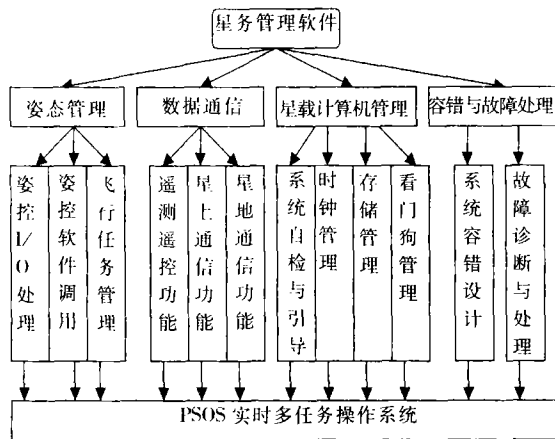


图3 星务管理软件体系结构

Fig.3 Housekeeping software system structure

3 星务管理软件的设计

3.1 设计原则

(1) 用软件工程思想指导星务软件设计,即以自顶向下和自底向上相结合的方法和模块化设计思想设计星务管理软件;

(2) 软件设计力求简单有效,即用简单的方法解决复杂问题;

(3) 人工管理始终优于程序自动管理,地面站的人工干预必须得到响应;

(4) 提高系统运行的可测性和确定性;

(5) 用有限的处理方法处理无限的故障。

3.2 多任务设计

姿控系统和星务管理系统共用同一台星载机,另一台星载机作为备份机使用。充分利用 pSOS 操作系统的多任务机制,设计4个主要任务:姿控管理任务、星务管理任务、它机监控任务和全局调度任务。同一个软件系统可注入到两台不同的星载机上,由全局调度任务根据主从机的不同,启动或挂起不同的任务。整个任务的调度过程见图4。

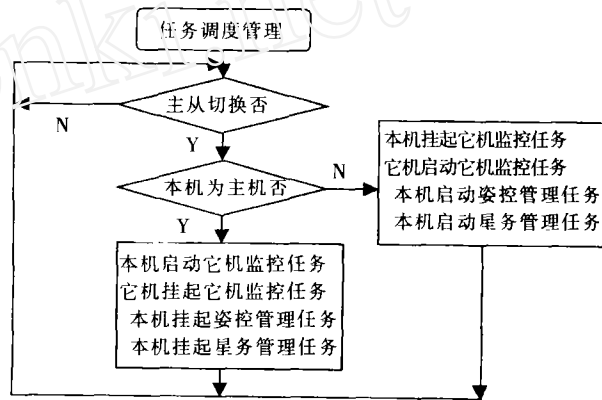


图4 任务调度管理

Fig.4 The management of tasks scheduling

3.3 姿控管理

姿控管理主要包括飞行任务管理、姿控 I/O 部件操作和姿控计算3个部分,在每个控制周期中,都要进行这3部分的处理,见图5。

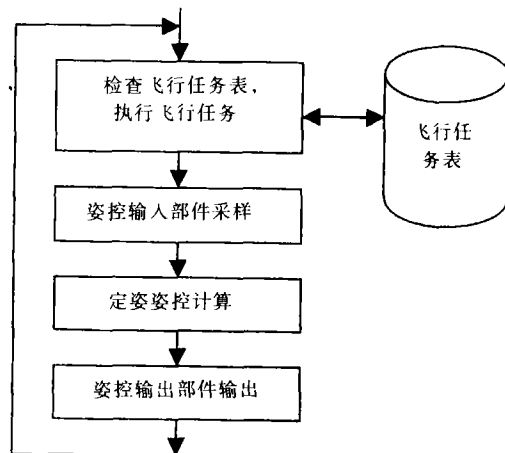


图5 姿控管理

Fig.5 Attitude management

3.4 数据通信

3.4.1 星上通信

星载网络通信采用主从方式,星载计算机为

默认的主控制器;其他分系统为从控制器,信息交换采用应答方式进行.通常情况下,各分系统处于接收状态,系统总线为空闲方式.

星载计算机采用轮巡方式访问各分系统,各分系统仅在被访问后进行应答时才有权占用系统总线,并且在一帧传输结束后释放系统总线.

帧长规定为70字符,包括同步码、地址码、控制码、信息码及校验码等,具体定义如图6所示.其中括号内数字为各区域的字符数.

同步码(1)	地址码(2)	控制码(1)	信息码(64)	校验码(2)
55H	目的地址 源地址			CRC

图6 帧格式定义

Fig.6 The definition of frame type

3.4.2 星地通信

星地通信是由星载机、通信控制器和地面站三者间建立起来的通信链路.其中星载机与通信控制器之间采用星上通信协议,通信控制器和地面站之间可采用1K/4K或62.5K/62.5K两种速率通信;它是实现遥测遥控功能的基础.

3.4.3 遥测遥控功能

遥测遥控功能主要完成遥测帧的组帧,遥控命令的解释执行等功能.每个遥测帧由64个字节组成格式如下:

EBH	90H	……	帧计数	校验和	校验和
-----	-----	----	-----	-----	-----

遥控帧是由地面站发给星务管理软件的上行帧,也是64个字节,包括数据和指令等.为确保上行指令的正确性,在组帧前,先对指令进行汉明编码.星务管理软件接收到遥控指令帧时,先进行汉明译码,然后解释执行遥控指令.

3.5 双机容错设计

为保证系统可靠性,星载机采用双机备份处理.其中一台为主机,另一台为从机.在任何时刻,只有主机拥有系统控制权.软件首先注入到主机,然后通过同步高速串口(SSIO)将程序复制到从机.程序运行时,根据本机的主从特性,启动或挂起相应的任务,主机执行星务管理的基本功能,而从机只运行系统监控程序.

主从机控制权的切换方式主要有两种:

(1)让权:在双机都正常的情况下,由地面站发遥控命令让主机让权.

(2)抢权:当主机故障时,从机根据适当的判据确认主机真的发生故障;然后抢权,使自己成为主机.抢权的判据是:它机看门狗叫3次或SSIO通信超时且异步串口COM1和COM2无数据.

3.6 故障诊断与处理

3.6.1 基本处理原则

(1)变化快的关键参数要经常检测.

(2)一个故障可能引起多个遥测参数的变化,所以每次只处理一个最高优先级的故障.

(3)故障级别:系统级、分系统级和部件级.原则上,星务只处理系统级故障.

3.6.2 基本步骤

采集遥测参数→检测遥测参数→选择最高优先级故障→执行故障恢复

3.6.3 使用的数据结构

(1)故障表

故障名	优先级	判据	处理方法

(2)故障诊断表

序号	参数范围	诊断允许/禁止	诊断挂起	故障号

(3)故障处理表

故障号	优先级	处理方法

3.6.4 流程图(见图7)

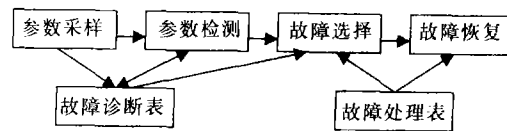


图7 故障诊断与处理过程

Fig.7 Process of fault diagnosing and processing

4 结束语

该小卫星目前还处在研制过程中,星务管理软件的基本功能已经实现.限于篇幅,一些关键技术不能展开讨论,将在后续的文章中进一步介绍.可以肯定的是,小卫星星务管理软件的开发有别于大卫星的软件设计,将逐步形成一套独特的开发方法.本文只是对这一开发方法的一种探索.

参考文献:

[1] 税世鹏. 新世纪初军用卫星技术及市场发展评析[J]. 国际太空, 2000(5):4-9.
 [2] 王景泉. 小卫星将引起空间技术发展的一场革命[J]. 中国航天, 1994(9):31-33.
 [3] 林来兴. 现代小卫星及其关键技术[J]. 中国空间科学技术, 1995(4):37-43.

(编辑 杨波)