

# 小卫星星载计算机及其外围设备的管理

程光明, 廖明宏, 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:** 在现代小卫星通用平台的设计中, 由于功能及计算量的增加, 使得对星载计算机及其外围设备的管理成为制约系统性能和可靠性的瓶颈. 针对这一问题, 以某小卫星为例, 讨论了现代小卫星星务管理软件对星载计算机及其外围设备的管理方法和技术. 通过引入实时多任务嵌入式操作系统, 设计以多任务并行运行为主要特征的星务管理软件体系结构, 把外设划分为二级三类, 通过调度任务对与不同外设相对应的任务进行调度, 并裁剪 PSOS 实时多任务操作系统, 提高代码利用率, 缩短了系统的运行周期, 提高了系统控制精度和可靠性.

**关键词:** 小卫星; 星载计算机; 外围设备; 星务管理软件

中图分类号: V448.22

文献标识码: A

文章编号: 0367-6234(2002)02-0201-03

## Management of onboard computer and its peripherals

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

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

**Abstract:** The management of onboard computer and its peripherals has become the bottleneck of the performance and reliability of onboard computer system in the design of modern small satellite common platform. A new housekeeping software architecture is proposed for management of onboard computer and its peripherals. Tasks are scheduled according to the stage and class of different peripherals. The clipping of real-time multi-task operating system improves the utilization of software.

**Key words:** small satellite; onboard computer; peripherals; housekeeping software

星载计算机及其外围设备的管理是卫星系统设计中极其重要的一环. 在传统的卫星中, 外部设备由多台独立的下位机分别管理, 星载计算机通过下位机对外部设备进行间接的管理和控制. 星载计算机在一般情况下, 并不参与星上的数据采集与计算, 其主要功能是分析星上各个设备的状态, 然后根据卫星的任务规划, 对星上设备进行管理. 这种管理方式的缺点是星上线路复杂、制造成本高、可靠性低<sup>[1]</sup>.

小卫星通用平台是近几年发展起来的一种新兴的航天技术. 小卫星通用平台的主要目标是为

不同的有效载荷提供一个通用搭载平台, 最大限度地降低卫星制造成本, 提高卫星系统的可靠性. 小卫星通用平台的出现和发展, 使卫星设计的小型化、智能化、通用化成为可能<sup>[2]</sup>. 在现代小卫星通用平台的设计中, 模块化和集成化是它的主要设计思想, 普遍采用高性能的处理器, 将传统卫星中的下位机合并成数量较少的下位机, 将以前硬件实现的功能由软件实现, 简化硬件的复杂度, 提高系统的可靠性. 但这同时也对软件设计提出更高的要求, 星载计算机必需在完成数据采集的同时完成数据处理. 这就对小卫星星载计算机及其外围设备的管理提出了一个难题.

为解决这个问题, 就必须抛开传统控制软件的设计模式, 充分发挥嵌入式多任务操作系统的功能, 以多任务并行化代替单任务串行执行, 对星务管理任务进行分级、分类, 将其划分为可以并行

收稿日期: 2001-03-20.

基金项目: 国家高技术航天领域基金资助项目(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: 程光明(1971-), 男, 博士研究生.

执行的多个任务,充分发挥硬件并行运行的潜能,提高硬件系统利用率.同时,裁剪通用实时多任务操作系统,减少操作系统本身的代码量,为星载设备设计专用驱动程序,提高软件代码效率.

本文以设计中的某小卫星通用平台为例,讨论小卫星通用平台对星载计算机及其外围设备的管理.

### 1 星上设备简介及管理要求

该小卫星通用平台主要由 8 个分系统组成.系统结构如图 1 所示.星上除星载计算机外还有 4 台下位机,它们是通信控制器、有效载荷控制器、电源控制器和 GPS.姿控系统和星务系统共用一台星载计算机,定姿设备及姿控设备都与星载计算机直接相连.电源系统和热控系统共用一台下位机.

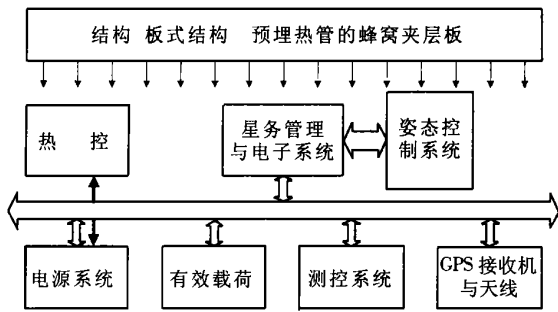


图 1 系统结构图

Fig. 1 Architecture of small satellite

星载计算机和 4 台下位机通过星上数据总线相连构成星上通信网络,实现星上与地面的数据交换及对各系统信息的采集,从而完成对外部设备的管理.星上设备的主要信息由下位机收集,然后通过星上网络传给星务计算机.星载机与下位机的通信过程中,使用与 HDLC 相类似的通信协议,以星载计算机为主,其它下位机为辅.星地通信由通信控制器控制测控系统完成.将星上数据向地面下传,再将地面上传的数据传给星载计算机.姿控系统完全由星务计算机管理.

该星基于自身特点在管理上与传统卫星有很多不同,主要有以下几点:(1)传统卫星的通信控制器一般在飞行期间始终与地面通信,由于电源及飞行轨道的限制,该星只能间断性的与地面通信;(2)传统卫星的姿控系统通常和星务系统是分开的,由两台计算机分别管理,所以传统卫星的星务计算机的负载并不重,而该星将这两台计算机合并,由一台计算机管理,因此星务计算机的控制管理变得很复杂;(3)该星采用了国际上先进的姿控系统,即反作用飞轮和磁力矩器,这两种

设备要求姿控系统能以很短的时间间隔持续地为其提供数据,对系统有更高的实时性要求;(4)该星的主要功能的实现方法不同于传统卫星,主要由软件实现,并且可以实现软件重注,因此,在功能上有较大的灵活性.

### 2 星载计算机及其外围设备的管理

#### 2.1 软件环境

本系统运行于 PSOS 实时多任务操作系统.这里对该系统的底层驱动程序进行了修改,使之适应于自行设计的星载机电路板.减小了该系统软件的大小,编写了部分新设备的驱动程序.改造前后的系统结构如图 2 所示.

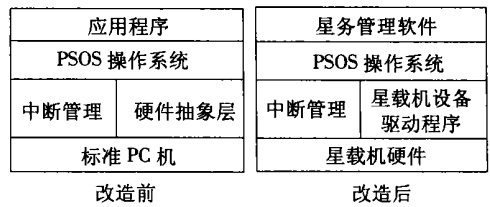


图 2 对 PSOS 操作系统的改造

Fig. 2 Reconstruction of PSOS operating system

#### 2.2 软件体系结构

软件体系结构的确定是由多种因素决定的,与计算机的硬件、软件环境有密切的关系.星务系统主要有星务管理和姿态控制两项任务.因此从功能上讲,本星务系统主要有信息采集、信息处理和设备控制的功能.软件设计中采用不同的体系结构,因此这里的主要目标就是将它们的优点结合起来,充分发挥星载计算机的性能,提高系统效率.

在实现上可以将外部设备分为二级三类,分为二级是为了表示直接和间接的关系.一级指星载机可以直接访问或控制的外部设备;二级指星载机不可以直接控制,需要通过下位机的通信间接获取信息和控制,或在极端情况下由星载机通过对下位机复位,强制这些外围设备复位.根据管理方式的不同,将它们分为三类:第一级被分为两类,一类指与星机有数据交换的外部设备,第二类指星载机控制开关的设备;第二级的设备作为第三类.第一类包括 4 台下位机、光纤陀螺、星敏感器等设备.第二类基本上包括了第一类的设备,还有一些其他的传感器和触发器等设备.第一类还可以按功能划分为两部分:一部分属于星上通信网络系统,一部分属于姿控系统.

经过分析比较,综合各种因素,确定软件体系结构如图 3 所示.整个系统以周期的形式进行运行和管理,在每周期内完成一次数据采集、处理和

管理, 更好地满足了卫星系统在不同飞行状态下对系统管理提出的要求。

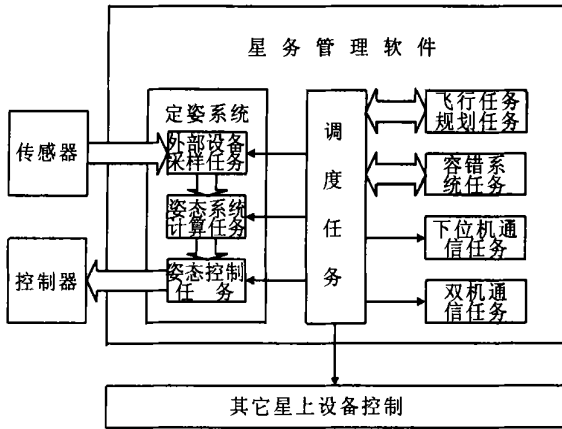


图 3 软件体系结构图

Fig. 3 Architecture of software

### 2.3 星载机及外围设备的管理

星载计算机是整个小卫星的核心部分, 负责整颗卫星的飞行任务管理。星载计算机对其本身及外围设备的管理主要是通过对任务的调度来实现的。按照不同的功能将系统划分为多个可以协同工作的任务, 通过一个调度任务对这些任务进行管理以实现系统不同的工作状态。任务调度的主要工作流程如图 4 所示。

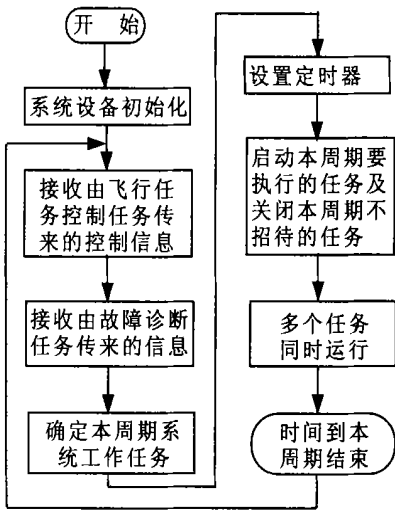


图 4 调度任务工作流程图

Fig. 4 Flowchart of schedule task

卫星的飞行任务由飞行任务规划任务进行处理。这个任务根据可以由地面重注的飞行任务规划表以及星上各个设备的状态决定当前卫星的工作状态。即它是卫星当前任务的决定者, 而调度任务是执行者。

在这两个任务的管理下, 系统主要实现了双机容错, 与下位机的通信及处理和对外部设备的

管理。其中对外部设备的管理由两部分组成: 一部分通过串口通信实现, 另一部分由 CPU 直接对端口读写来完成。

对下位机的通信采用自行编写的类似于 HDLC 的通信协议。实现中采用分层结构。底层以实现帧的无差错传输为目的, 上层为协议解释层, 对接收到的数据进行解释并执行。对双机容错的处理参见文献[3, 4]。

对其它外设的处理的主要问题是不同的外部设备对响应时间的不同要求与系统周期之间的矛盾。星上一些设备的反应时间较长, 尤其是刚启动时, 系统设备第一次初始化需要延时一段时间, 一般为几十毫秒, 会对卫星只有几百毫秒的工作周期产生严重的影响。因此, 在设计中采用了多任务同时运行的工作方式, 尽量不使用查询方式访问端口, 多数的设备采用中断方式及 DMA 方式进行工作。启动任务时, 将对外设访问的任务与不访问外设的多个任务同时运行。这样, 当访问外设的任务因为外设没准备好而阻塞时, 其他的任务就可以充分利用 CPU 的时间。图 5 是一个简化的星务软件系统任务调度图, 可见由于多任务及 DMA 的应用, 极大地提高了系统的效率。

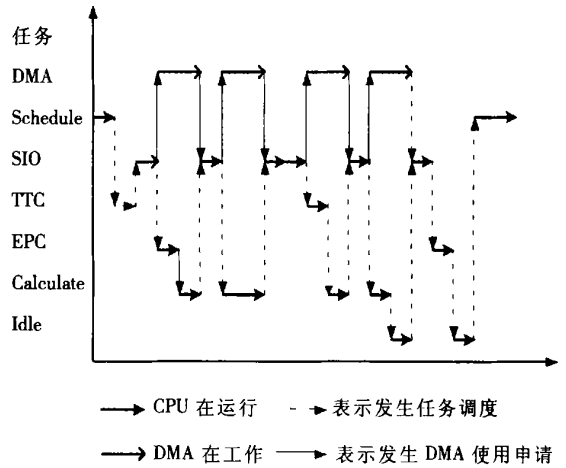


图 5 PSOS 程序任务调度时序图

Fig. 5 Scheduling of PSOS tasks

### 3 结论

该小卫星的星务管理软件在对星载计算机及外部设备的管理中, 充分利用了星载计算机硬件及 PSOS 多任务实时操作系统提供的多任务机制, 在完成对外部设备的复杂管理及控制的同时, 大大减小了系统运行周期, 提高了控制精度。在体系结构上, 采用模块化、层次化的设计方针, 减化设计, 提高了系统的可靠性, 为星务管理软件的设计提供了一条新的设计思路。(下转第 210 页)

表 2 各因素的关联度  
Table 2 Connection function of every factor

	$k_j(\odot_1)$	$k_j(\odot_2)$	$k_j(\odot_3)$	$k_j(\odot_4)$	$k_j(\odot_5)$	$k_j(\odot_6)$
方案 1	+ 2.0	- 2.8	- 2.0	+ 2.0	- 0.7	+ 2.0
方案 2	- 1.6	+ 2.0	+ 2.0	- 0.5	+ 2.0	
方案 3	- 0.5	- 1.0	+ 2.0	- 1.6	- 0.5	- 3.0

将  $w$  和  $k_j(\odot_i)$  代入式(5), 得综合关联度:

$$k_1 = 2.229, k_2 = 0.518, k_3 = -0.697.$$

由  $k_{opt} = \max\{k_1, k_2, k_3\}$ , 确定出最优方案.

可见方案 1 为最优方案, 且三个方案的优劣次序为: 方案 1 > 方案 2 > 方案 3.

根据以上计算结果可看出, 方案 1、2 的综合关联度均大于 0, 说明皆为可行方案, 且  $k_1 > k_2$  因此, 应优先选用方案 1; 方案 3 的综合关联度  $k_3 = -0.697$ , 虽不符合标准方案的要求, 但存在向标准方案转化的潜力, 如增加储库地层最大允许压力或增加注采井等.

#### 4 结 论

(1) 建造天然气地下储气库取决于自然和社会等多方面的因素, 是一项大型、复杂、具有多目标性的工程项目, 对多种设计方案采用灰色物元分析法确定天然气地下储气库最优设计方案, 可减少或避免以往凭借经验作决策的失误和设计错误. 算例计算结果客观, 符合工程实际, 效果令人

满意.

(2) 灰色物元分析法中评价标准和权重起着至关重要的作用, 必须通过数值模拟<sup>[5]</sup>和实际工程经验, 建立工程信息库, 按统计资料合理地确定评价标准和权重, 以提高评价的准确度.

#### 参 考 文 献:

[1] 蔡 文. 物元模型及应用[M]. 北京: 北京科学技术文献出版社, 1994.

[2] WANG Guangyuan. Fuzzy optimum design of structures [J]. Eng Optimization, 1985(4): 75-78.

[3] 马小明, 杨树合, 史长林, 等. 为解决北京市季节调峰的大张坨地下储气库[J]. 天然气工业, 2001(1): 105-107.

[4] 谭羽非, 陈家新. 天然气地下储气库垫层气与工作气混合的模拟研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2001, 33(4): 546-549.

[5] 谭羽非, 陈家新, 廉乐明. 底水驱枯竭气藏型天然气地下储气库注采动态的数值模拟分析[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2000, 33(2): 70-74.

(编辑 杨 波)

(上接第 203 页)

#### 参 考 文 献:

[1] GINATI A, FUCHS M. Earth Observation Program with Small Satellite in OHB-System[A]. Small Satellites for Earth Observation, Digest of the 2<sup>nd</sup> International Symposium of the International Academy of Astronautics (IAA) [C]. Berlin: Wissenschaft und Technik Verlag, 1999. 245-248.

[2] 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): 4-8.

[3] 孙兆伟, 徐国栋. 小卫星姿态机动与星载机双机容错方法研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1999, 31(5): 68-72.

[4] 廖明宏, 程光明, 吴翔虎. 小卫星双机容错系统设计[J]. 高技术通讯, 2000, 8(增刊): 117-122.

(编辑 王小唯)