

文章编号: 1672-2892(2011)02-0244-04

## 一种卫星地面站伺服跟踪测控软件的实现

李晓娟, 戴 谊

(中国电子科技集团公司 第38研究所, 安徽 合肥 230031)

**摘 要:** 根据卫星小型移动式地面站的特点, 开发了一种卫星伺服跟踪测控软件。本软件依据卫星轨道参数控制伺服跟踪系统, 完成对卫星的实时跟踪。它以星载任务管理为核心, 利用高优先级线程来完成伺服数据发送、采集和存储工作, 采用 tchart 组件绘制了伺服跟踪效果图, 可对伺服跟踪效果进行测试。实际运行效果表明, 该软件能满足任务要求, 模块化程度高, 具有良好的扩展性。

**关键词:** 卫星地面站; 伺服跟踪测控软件; 高优先级线程; tchart 组件

**中图分类号:** TN957.52

**文献标识码:** A

## Design of servo control software based on satellite ground station

LI Xiao-juan, DAI Yi

(The 38th Research Institute, CETC, Hefei Anhui 230031, China)

**Abstract:** Based on the characteristics of small mobile ground station of satellite, a kind of servo control software is designed. This software can control servo tracking system basing on satellite orbit parameters and realize the real-time tracking of satellite. Taking task manage module as the kernel module, servo data are sent, collected and stored by high level priority thread; and the servo tracking rendering is displayed by tchart component. Servo test function is provided by the software as well. The experimental results demonstrate that the software design can meet the expected requirements and its modulization degree is high. This system can be popularized to other systems.

**Key words:** ground station of satellite; servo control software; high level priority thread; tchart component

卫星作为一类重要国家装备, 已在军事、气象、地质、农业、能源、交通等众多经济和政治领域发挥作用<sup>[1]</sup>。作为卫星系统的重要组成部分, 地面站的天线伺服系统控制天线对目标的跟踪是测控系统的重要一环。与大型地面站的多个计算机组网系统不同, 小型移动式地面站往往只能提供少量计算机来处理信息<sup>[2]</sup>。如何在资源有限的前提下完成卫星伺服跟踪的诸多功能, 是值得探讨的问题。本文介绍的卫星伺服跟踪测控软件, 利用单块 CPCI 计算机, 基于 Visual C++ 开发而成。它以星载任务管理为核心和驱动, 来进行高数据率的伺服引导, 并完成伺服跟踪数据的采集、显示和存储。此外, 还可提供伺服跟踪效果测试。

### 1 软件设计

卫星伺服跟踪测控软件中采用多任务模块配合工作方式, 具体由任务管理模块、数据转换模块、伺服引导模块、伺服反馈模块及测试模块组成。各模块在任务管理模块的统一管理调度下, 有序进行各项工作, 配合完成卫星跟踪任务。

软件的运行工作原理如图 1 所示: 依据用户在软件交互界面上操作, 结合 GPS 站址信息和定北仪定北信息, 计算出地面站的伺服引导数据(即对应 GPS 时间的辐射源的天线方位、俯仰角度参数), 解算的结果保存到伺服跟踪任务中。在设定时间内, 执行已设定的任务, 实时将控制数据送伺服控制分系统, 控制伺服分系统完成卫星跟踪, 同时进行伺服实际跟踪反馈数据的采集、显示和存储处理及数据匹配的误差曲线设计等工作。

## 2 软件实现

### 2.1 任务管理模块

任务管理模块作为伺服跟踪测控软件的核心模块，对其他软件模块的执行进行调度。任务管理模块由任务的加载、任务的执行、任务的删除组成。用户可通过人机交互界面，采用菜单的方式自动或人工加载伺服跟踪任务，用于引导伺服对卫星的跟踪处理。

在软件的具体实现过程中，设置的单个任务包括任务起始伺服信息  $(t_{start}, a_{start}, e_{start})$ 、任务结束伺服信息  $(t_{end}, a_{end}, e_{end})$  和伺服引导文件指针  $fp$ 。

软件中，该内容被定义为一个结构体，命名为 `typedef struct TARGETTASK`。考虑到软件操作的易用性，软件允许进行多任务的设置。采用链表形式来存储任务，以保证任务的动态加载和删除。为简便起见，利用 MFC 模板库中 `CList` 类模板实现，定义：`typedef CList<TARGETTASK*, TARGETTASK*> TARGETTASKLIST`。

在管理伺服跟踪任务的自动执行中，本软件是利用 MFC 的定时函数 `OnTimer()` 来实现。它用以定时检测当前时间  $t_{now}$  和当前任务起止时间：如果  $t_{now} < t_{start}$ ，任务处于待机态；如果  $t_{start} \leq t_{now} \leq t_{end}$ ，任务处于执行态；如果  $t_{now} > t_{end}$ ，则自动将当前任务删除，并转入下一个任务的待机态。

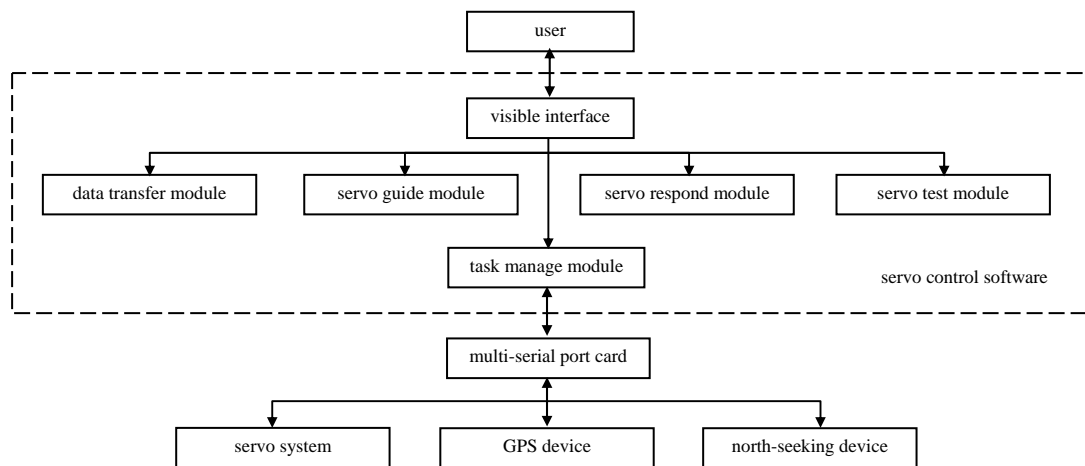


Fig.1 Working principle of software

图1 软件工作原理图

### 2.2 数据转换模块

在设置任务时，用户提供的是卫星轨道参数信息，输出则要求为地面站天线的极坐标。所以在使用伺服引导数据前，需要将它由绝对坐标的形式转换为极坐标。该功能是由数据转换模块完成的，见图 2。

它先将解算指定时间的卫星轨道参数信息，得到天球坐标系坐标，再转化为地心直角坐标，结合站址位置，就可得到卫星相对于伺服天线的极坐标，结合时间，就可得到该时刻伺服引导数据  $(t, a, e)$ 。此时的数据时间精确度为秒级的。

方位俯仰的计算表示为：辐射源的经纬度为  $(L_r, B_r, H_r)$ ，对应的地心直角坐标  $(x0_{rg}, y0_{rg}, z0_{rg})$ ，则有

$$\begin{cases} x0_{rg} = (N + H_r) \cos B_r \cos L_r \\ y0_{rg} = (N + H_r) \cos B_r \sin L_r \\ z0_{rg} = [N(1 - e_1^2) + H_r] \sin B_r \end{cases}$$

式中： $e_1^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$  为第 1 偏心率； $N = \frac{a}{\sqrt{1 - e_1^2 \sin^2 B_r}}$ ； $a = 6\,378\,137\text{ m}$ ， $b = 6\,356\,752\text{ m}$ 。

引导的连续性，可以采用线性插值的方法，以生成高精度的伺服引导数据(系统中采用 10 ms/次)。生成的数据保存到伺服引导文件中，以供任务执行时调用。实验结果证明，该方法合理有效，可保证引导数据的高精确度。

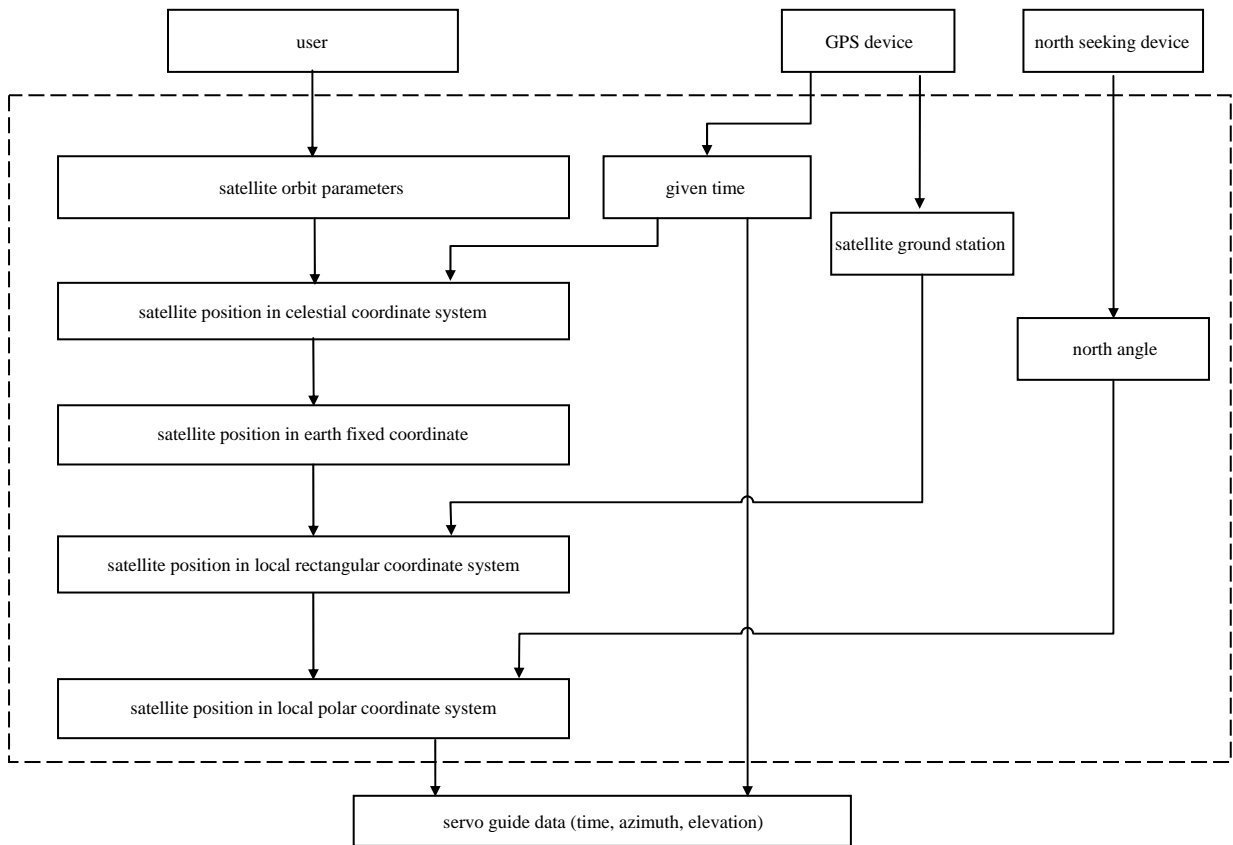


Fig.2 Flow chart of data transferring

图2 数据转换流程图

### 2.3 伺服引导模块

伺服引导模块是星载跟踪任务中的核心模块,它依据星历数据及卫星轨道参数信息,经处理后转换成伺服系统所需的角度信息,该过程即伺服引导过程。具体软件进程如下所述。

在任务执行时间内,程序引导模块有效,此时通过读取伺服引导文件,获得伺服引导数据,并按伺服引导数据中的时间来发送数据。考虑到 windows 为分时系统,常用的 OnTimer 定时函数优先级较低,其资源易被更高级别的进程所抢断<sup>[3]</sup>,因此,本软件中设计了 1 个独立线程来确保数据的定时传输。其原理是:创建 1 个高优先级线程<sup>[4]</sup>,在线程中循环执行下列步骤:

- 1) 判断任务是否在执行态,若是转到步骤 2),否则转到步骤 4);
- 2) 取当前时间  $t_{\text{now}}$ ,与伺服引导数据文件数据  $(t_k, a_k, e_k)$  中的时间比较,如果到达指定时间  $t_k$ ,转步骤 3),否则转步骤 4);
- 3) 将此时的引导角度  $(a_k, e_k)$  发送,并取数据文件中的下组数据  $(t_{k+1}, a_{k+1}, e_{k+1})$ ,执行完毕后转步骤 4);
- 4) 使用 sleep() 函数来将资源释放给其他线程使用,执行完毕后转步骤 1)。

经实际使用测试,采用该方法,可满足 10 ms/次的速率发送要求。

### 2.4 伺服反馈模块

在伺服引导过程中,希望实时采集和显示伺服反馈的跟踪数据。在伺服反馈模块中,也建立线程,其执行步骤类似于 2.3 节,不同处在步骤 3):在  $t_{\text{now}} = t_{k+1}$  时刻,将采集到的反馈数据作为  $t_k$ ,伺服跟踪数据为  $(t_k, a'_k, e'_k)$ ,进一步可得到伺服跟踪误差数据  $(t_k, \Delta a_k, \Delta e_k)$ ,将其保存到文件中,可便于事后分析。

在伺服引导过程中,用户希望实时了解伺服跟踪信息。本软件中对数据进行采样,利用 ontimer 函数来定时显示,可以达到指定效果。对于跟踪的精确度验证,本软件采用误差曲线和记录表的方式。伺服跟踪误差曲线的具体实现是采用 tchart 组件进行开发。tchart 组件可以灵活控制图表、曲线的绘制。它可以方便地将序列数据以图形的方式显现出来,并支持图形的放缩、3D 化、旋转等各种操作。

## 2.5 伺服测试模块

验证伺服跟踪性能,需要对伺服系统进行测试。这里利用伺服测试模块,其方法是将任务设置完毕后,将本地时间  $t_{now}$  置到任务开始时间  $t_{start}$ ,按伺服引导模块和伺服反馈模块来执行任务,但到达任务结束时间  $t_{end}$  时,伺服测试模块将状态复原,时间重新回置到准确时间  $t'_{now}$ ,而将本任务继续保留。利用反馈得到的误差数据和误差曲线,可以获取此时伺服系统的跟踪性能。此外,该模块还可用于伺服跟踪性能的改进。

## 3 软件效果

伺服跟踪测控软件既完成星载任务管理,又可通过任务界面直观地监测伺服跟踪效果。图3中,通过交互界面可以方便地加载和删除卫星任务,可以详细地查看卫星的信息。图4中通过曲线的方式监测伺服跟踪效果,本软件采取 tchart 绘制<sup>[5]</sup>的跟踪曲线,可从界面实时观察伺服跟踪效果,并对历次跟踪任务进行记录以便事后分析。

任务执行过程中,伺服跟踪效果图是以秒为单位显示伺服方位或俯仰的跟踪信息,图中  $x$  轴表示当前时间,以任务进站点时间作为起点,以任务出站点时间作为终点; $y$  轴表示角度信息,可以是方位或俯仰角度。图中用红色曲线表示引导数据,绿色曲线表示反馈数据,蓝色曲线表示误差值。通过伺服跟踪效果图可以直观地观测到本次星载任务的执行效果。

伺服跟踪效果图,可以实时地监测每次任务的执行情况,一次成功的跟踪,其误差曲线应该如图所示比较平缓,满足误差范围要求,不会出现突变。历时几个月的任务验证中,本软件在任务执行过程中精确可靠,对任务的执行效果起到了很好的检验作用。

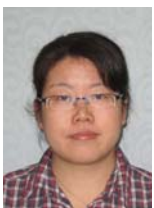
## 4 结论

本文介绍了一种卫星伺服跟踪测控软件,以有限资源完成了伺服跟踪的诸多功能。该软件已在某卫星的地面站中得到了实际应用,运行效果良好。因其模块化的设计,软件具备良好的复用性和扩展性,相信可推广到其他相似类型的伺服跟踪测控系统中去。

### 参考文献:

- [1] 王秉钧,王少勇,田宝玉,等. 现代卫星通信系统[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [2] 马瑞峰,郭陈江. 基于遥感卫星地面站伺服控制系统研究[J]. 计算机测量与控制,2005,13(7):688-690.
- [3] 刘斌. 天线伺服软件在 Windows 下的实现[J]. 计算机应用研究,2005,22(6):145-146,149.
- [4] 钱能. C++程序设计教程[M]. 2版. 北京:清华大学出版社,2005.
- [5] 和平鸽工作室. OpenGL高级编程与可视化系统开发[M]. 北京:中国水利出版社,2006.

### 作者简介:



李晓娟(1980-),女,黑龙江省双鸭山市人,学士,工程师,主要从事地面雷达和机载雷达测控系统软硬件研究.email:anglelxj@163.com.



Fig.3 Window of task manage  
图3 任务管理界面图

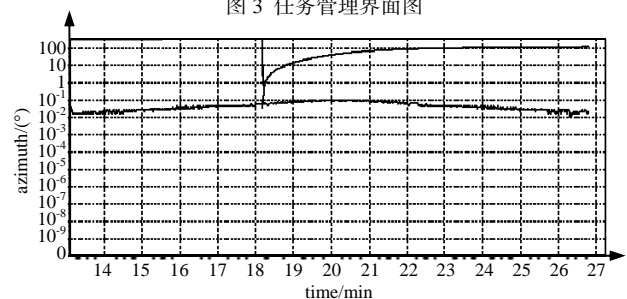


Fig.4 Window of servo azimuth tracking effect  
图4 伺服方位跟踪效果界面图

戴 谊(1979-),男,江苏省无锡市人,硕士,工程师,主要从事雷达数据处理、航天地面测控软件研究.