

基于中继卫星系统的天基测控 与数据中继关键技术浅析

龚志刚¹ 寇保华² 罗丹²

(1 中国载人航天工程办公室工程总体室 2 中继卫星控制管理中心)

摘要 资源分配与调度、星间链路动态捕获跟踪和数据实时分发,是中继卫星系统提供天基测控与数据中继服务的三大关键技术。以“天链一号”中继卫星系统在神舟七号载人航天飞行中的应用为背景,详细介绍中继卫星系统资源分配的模式与算法、星间链路捕获模式与流程、数据传输模式与信息流程等技术。

关键词 天链一号 天基测控 数据中继

中图分类号 V557 **文献标识码** A **文章编号** 1674-5825 (2009) 02-0056-04

1 引言

跟踪与数据中继卫星系统是一个利用同步卫星和地面终端站,对中、低轨飞行器进行高覆盖率测控和数据中继的测控通信系统。这个系统具有跟踪测轨和数据中继两方面的功能,又称“天基测控系统”^[1]。跟踪与数据中继卫星系统(以下简称中继卫星系统)的出现从根本上解决了地基测控通信覆盖率低的问题,同时还解决了高速数传和多目标测控通信等技术难题。美国、俄罗斯、欧洲和日本都已拥有自己的中继卫星系统,并得到广泛的应用,取得了较高的社会与经济效益。

2008 年我国自主研发的“天链一号”中继卫星系统在神舟七号载人航天飞行中得到了成功应用,将飞船的测控覆盖率从 15% 提高到 50% 左右,对保障航天员安全和我国载人航天任务的顺利实施具有重要意义,填补了我国天基测控与数据中继的空白。

在利用中继卫星系统进行天基测控与数据中继任务时,资源的有效分配与调度是首要环节,星间链路的动态捕获跟踪是任务成功的关键,而用户数据的实时分发是任务的最终实现。本文对上述三项关键技术进行了研究。

2 资源分配与调度技术

当多个用户目标要求使用中继卫星系统,其服务时段发生交叠或距离太近无法顺次完成时,就出现了资源冲突。此时,必然有某些用户的要求无法得到满足或无法完全得到满足。另一方面,由于中继卫星系统自身需要进行必要的维护和测试,在此期间,系统无法向用户提供服务,这样也会导致资源冲突。为了更合理、有效地利用中继卫星资源,最大限度地提高中继卫星系统的业务能力与效率,需要设计优化的资源分配策略及算法。

2.1 资源分配的原则

在对中继卫星系统资源进行分配时,应保证优先级高的任务弧段优先得到支持,同时又不让低优先级的任务无限等待。其主要原则如下:

(1) 所有需要提供服务的用户目标的优先级由卫星管理部门综合确定,新用户加入时,根据任务情况,确定其优先级;

(2) 当两个或两个以上的申请冲突时,保证优先级高的申请得到服务;

(3) 每一次进行冲突消解之后,用户目标的优先级根据服务情况进行动态调整;

(4) 相邻两次用户任务的间隔时间不小于任务

切换时间;

(5) 在发生冲突的申请优先级差别不大,且冲突时间不长的情况下,根据用户申请中的某些内容(如最短服务时间,开始时间允许的偏差等),对用户申请的开始时间或服务时间进行调整,从而保证某些冲突的申请能够得到部分满足;

(6) 根据用户申请中的关联性服务事件,如果其中一个无法得到满足,则相关联的事件均予以取消。

2.2 资源分配模型及算法

通常需要占用中继卫星系统资源的任务共有三类:数据中继任务、中继卫星工程测控、地面站设备维护。一般而言,它们之间是相互排斥的,在进行一项任务时,其它任务无法同时进行。在不同的时间,中继卫星的资源可以为不同的任务提供服务,而在同一个时间段,中继卫星只能为一种任务提供服务。

基于以上描述,对中继卫星工作模型进行如下

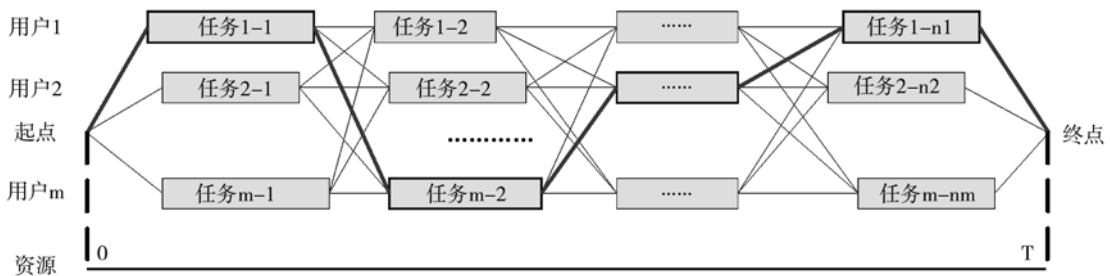


图 1 资源分配模型示意图

图 1 中,所有的任务分为 m 类,称为 m 个用户,设第 i 个用户提交 n_i 个任务,那么总的任务数目为:

$$\sum_{1 \leq i \leq m} n_i$$

需要指出的是,这里的用户与实际的用户并不是完全一致的,它只是为便于描述算法而采用的一个概念,表示若干个没有内部资源冲突的任务。在实际情况下,如果一个用户提交的某些任务存在资源冲突,可以把该用户看作几个用户,每个用户提交一部分不存在内部资源冲突的任务。

图 1 中,资源表现为一个时间块,其长度为 T ;任务表现为一个时间段,其长度、起始时刻均为设定的值。记资源的 0 时刻为起点, T 时刻为终点,并按照下述原则在某些任务之间建立连接:

(1) 起点与每个用户的第一个任务的起始时刻之间添加一条单向连线;

(2) 每个用户的最后一个任务的终止时刻与终点之间添加一条单向连线;

抽象:

前提 1:资源可以分时为不同的任务提供服务;

前提 2:任务执行时对指定资源是独占的;

前提 3:任务的开始时刻和结束时刻是预先给定的。

在上述前提下,可以把任务等效为对特定资源的占用时间段,资源分配的任务就是合理地安排这些时间段,最大限度地发挥系统的效能。基于此,得到资源分配的基本模型如下:

给定 M 个长度固定且相等(记为 T)的时间块(资源),以及 N 个长度不等(小于 T)、起始时刻固定的时间段(任务),每个任务具有一个给定的权值。要求在不出现资源冲突的情况下,将这些任务安排到合适的资源上的合适的位置(即为这些任务分配资源),使所有得到安排的任务的权值之和最大。

资源分配模型的示意图如下:

(3) 任意一个任务的终止时刻与每个用户中该时刻之后、最接近该时刻的任务起始时刻之间添加一条单向连线。

经上述操作后,可以得到一个有向图。图 1 中,从起点经过某些单向连线和它们所连接的任务可以到达终点,这样的一组单向连线和任务称为一条路径,任意一条路径中所有任务的权值之和称为路径的权值。在一个有向图中,存在若干条不同的路径,并且不同的路径上连接着不同的任务组合,因而有着不同的权值。

显然,对资源分配问题而言,上述有向图中的路径代表资源分配方案,路径的权值代表资源分配方案的权值,这样,资源分配问题就转化为一个路径规划问题:在上述有向图中,寻找一条(从起点到终点的)路径,其权值最大。这一问题可以简单地采用动态规划算法求解。其具体实现分为构造单向连接图和单向连接图上执行动态规划算法、寻找最优路

径两个阶段。

3 星间链路动态捕获跟踪技术

中继卫星与用户星星间链路的准确建立是圆满完成用户星数据中继任务的前提和关键。由于建立 Ka 频段星间链路使用的频率高、波束窄,需要解决星间链路天线运动、卫星姿态变化以及轨道摄动等多种动态耦合因素对星间链路天线精准控制影响的关键技术。针对上述问题,可以采用模式实时切换、捕跟等待点和捕获阈值动态设置的方式,设计捕获跟踪流程,建立捕获跟踪状态,以提高中继卫星与用户星双向捕获跟踪效率。

3.1 星间链路天线捕获跟踪模式

中继卫星主要使用 4 种跟踪方式完成对用户星的捕获跟踪:扫描搜索+自动跟踪、程序跟踪+自动跟踪、程序跟踪、程序跟踪+扫描搜索+自动跟踪。

程序跟踪模式是星间链路天线的一种较低精度的目标跟踪模式,主要用于 S 频段数据传输。程序跟踪模式是利用天线框架角测量信号做反馈量,控制星间链路天线跟踪给定的用户卫星运动轨迹。

扫描搜索模式中,星间链路天线在一定的空间范围内,按一定的扫描搜索轨迹运动,搜索用户卫星的信号,以实现中继星天线对用户星的捕获,建立星间通信链路并转入对用户星的自动跟踪。如图 2、图 3 为扫描搜索模式中星间链路的理论运动轨迹:

自动跟踪模式实现对用户星的高精度指向跟踪。在天线自动跟踪模式下,可通过射频敏感器直接测量天线对用户航天器的跟踪误差,经天线自动跟踪控制律计算,驱动天线转动,实现对用户星的闭环高精度跟踪。

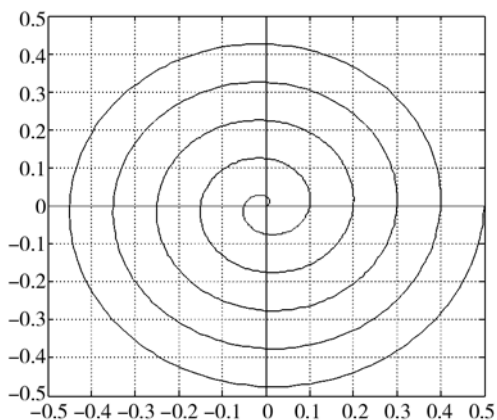


图 2 理论扫描螺旋线(二维相平面图)

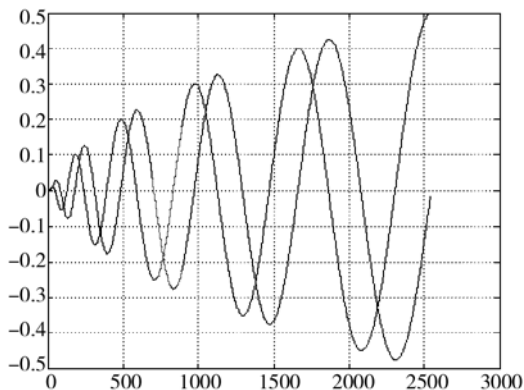


图 3 理论扫描螺旋线(一维时序图)

3.2 星间链路天线捕获跟踪流程

结合中继卫星和用户卫星天线的波束带宽、指向精度及用户终端的工作频段,不同条件下的星间链路天线捕获过程如下:

仅有前返向 SSA (S 波段单址) 链路时的捕获跟踪

此时,用户终端及中继卫星上的天线波束相对天线指向精度而言为宽波束,用户终端天线在服务时段内,根据轨道数据采用程序跟踪方式指向中继卫星,中继卫星天线采用程序跟踪方式跟踪用户星。

前返向均有 KSA (Ku 波段单址) 和 SSA 链路时的捕获跟踪

在中继卫星对用户终端 Ka 信号捕获跟踪之前,S 频段前、返向信号可以先实现捕获,地面设备可由 SSA 返向数据中获得用户终端的状态信息,以便对中继卫星的捕获过程进行干预。同时,用户部门可以由 SSA 链路监视用户终端的状态,并利用 SSA 前向数据链路对用户终端进行操作控制,加快并可靠的完成用户星对中继卫星 Ka 信标的角度捕获与跟踪。

前向有 KSA、返向有 KSA 和 SSA 链路时的捕获跟踪

此时的捕获跟踪与星间前、返向均有 KSA、SSA 链路相似,卫星管理部门和用户不能通过前向链路对用户终端进行操作控制。

前返向仅有 KSA 链路时的捕获跟踪

中继卫星星间链路天线的指向精度大于其半功率波束宽度,星间链路天线需对用户终端进行全程角度自跟踪。对用户终端天线,若由于天线的指向精度产生的电平损失可以容忍,则用户终端采用程序跟踪方式实现对中继卫星的角度跟踪。反之,用户终

Analysis About Key technologies of space based TT&C

GONG Zhigang KOU Baohua Luo Dan

(1 China Manned Space Engineering office, 2 Data relay satellite manggemie and control centre)

Abstract: Distribution and scheduling of resources, dynamic capture and tracking of link between satellites, and real_time dispense are three key technologies through which data relay satellite system can provide space based TT&C and data relay services. Combined the use of TL-1 satellite system in SZ-7 mission, this paper introduced technologies including model and arithmetic of resources distribution , mode and procedure of capture and tracking of link between satellites, and data transfer mode.

Keywords: TL-1; Space based TT&C; Data Relay

(上接第 15 页)

Application of Wearable Computer for Advanced Extravehicular Activity Space Suit

ZHOU Xiaojing LI Tanqiu XIA Lingen LIN Guiping

(Beijing Institute of Spacecraft Systems Engineering)

Abstract: With the expansion of human space exploration, EVA tasks become much more complex, which require augmenting the information management and display capabilities of the extravehicular activity (EVA) space suit. The characters of miniaturization, low power consumption and mobility make wearable computer a method to construct a new information system for EVA space suit. This paper gives a brief review of wearable computer, puts forward some design consideration for EVA space suit wearable computer, and lists some efforts which have been made in the information system design of advanced EVA space suit. EVA space suit wearable computer can provide rich and flexible information, increases the efficiency and safety during more complex EVA missions and has a good application prospect.

Keywords: Extravehicular activity (EVA) space suit, Wearable computer, Helmet-mounted display(HMD)

(上接第 37 页)

Technical Innovation and Practice of Manned Spacecraft Launch Site in the 7th Shenzhou Spacecraft Launch Mission

Lu Jinrong

(Jiuquan Satellite Launch Center of China)

Abstract: The quality control system which satisfies the requirement of GJB9001-2001A has been set up, and the synthetically technical system for maintenance based on the reliability evaluation has been established. The integrated simulation and training system for spaceflight launch and the community wireless transmitting device have been developed in the manned spacecraft launch site.

Keywords: 7th Shenzhou spacecraft launch mission; Manned spacecraft launch site; Technical innovation; Practice