0254-6124/2013/33(1)-063-09 *Chin. J. Space Sci.* 空间科学学报

Hu Shengbo, Meng Xin, Bian Chunjiang. Research on dynamic slots allocation supporting multi-missions for space station. *Chin. J. Space Sci.*, 2013, **33**(1): 63-71

空间站支持多任务动态时隙分配研究 *

胡圣波[1,2] 孟 新[2] 卞春江[2]

1(贵州师范大学智能信息处理研究所 贵阳 550001)

2(中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100190)

摘 要 为高效、灵活利用有限的空间信道资源, 提高空间站运营模式的动态性, 采用具有 QoS (Quality-of-Service) 保证的空间站支持多任务动态时隙分配十分重要. 根据空间站多任务特点, 提出一种基于 IP 的空间站通信网络架构. 根据探测任务的不同 QoS 等级, 重点研究了多任务动态时隙分配方法, 提出了一种基于预留的具有 QoS 保证的按需时隙分配方法. 基于 NS2 和 STK 进行仿真, 并得出如下结论: 空间站经中继卫星到地面的数据传输时延在 0.23~0.35 s; 空间站到地面的端到端传输时延受激活的有效载荷或航天器数目影响, 激活的有效载荷或航天器数越少, 端到端的时延越小.

关键词 空间站, IP (Internet Protocol), 多任务, 时隙分配

中图分类号 V 443.1

Research on Dynamic Slots Allocation Supporting Multi-missions for Space Station

HU Shengbo[1,2] MENG Xin[2] BIAN Chunjiang[2]

1(*Institute of Intelligent Information Processing, Guizhou Normal University, Guiyang* 550001)

2(*Center for Space Science and Applied Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100190)

Abstract To utilize the limited channel resources of space with efficiency and flexibility, and to improve the dynamics of space station operation, it is important to dynamically allocate slot with Quality-of-Service (QoS) for supporting multi-missions of space station. According to characteristic of space station, a networking architecture for space station is presented. The slot allocation methods based on QoS are emphasized, and a demand slot allocation with QoS guarantee based on reservation is proposed. Using NS2 and STK, the results of simulation show that the propagation delay between space station and ground varies from 0.232 s to 0.35 s, and that the less active payload or spacecraft number is, the less End To End (ETE) delay is.

Key words Space station, IP (Internet Protocol), Multi-missions, Slot allocation

* 载人航天工程预研项目 (030104)

2011-11-28 收到原稿, 2012-10-19 收到修定稿

E-mail: hsb@nssc.ac.cn

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

0 引言

空间站的出现以及 IP 技术的成熟, 标志着空间对地观测进入了一个新阶段. 一方面, 空间站将成为天基对地观测综合能力最强的平台, 空间站及其搭载的科学探测仪器将成为可寻址的节点, 通过 Internet 能实现对科学探测仪器的遥操作以及数据交互 [1]; 另一方面, 随着观测时间、空间、谱分辨率的持续提高, 对地观测将呈现多任务、高动态、高速率的发展趋势 [2].

NASA 一直在研究如何采用工业标准和商用网络设备解决国际空间站的宽带 IP 通信问题, 并通过多次空间任务进行相关技术验证 [3]. 这些技术包括 1994 年 CCSDS STRV Dera 和 1999 年 UoSat-12 小卫星的 IP 技术, 2003 年国际空间站的 CANDOS 有效载荷中继通信技术, 2003 年 UK-DMC 卫星的移动接入技术和 2009 年验证的移动路由技术等 [4−7].

通过分析这一系列空间任务可以发现, NASA 的目的是在空间链路高误码、上下行不对称以及长时延的环境下 [8], 验证 TCP/IP 技术的通用性, 即采用 IP 协议作为粘合剂, 连接所有通信终端的可行性. 这是因为 IP 技术是跨越网络、实现端到端通信的标准技术, 能够使空间站在轨科学仪器通过 LAN 成为可寻址的节点, 并使空间站成为一个轨道可预知的移动 LAN, 从而构建一种新型的空间网络通信架构, 改变地面与空间站的交互方式, 增强对地观测的动态性, 从而满足空间站多任务、高动态、高 QoS 保证的通信要求 [9]. 而要达到此目的, 具有 QoS 保证、支持多任务、高动态的时隙分配方法十分重要.

本文在研究国际空间站空间通信网络的基础上 [10], 拟提出一种空间站通信网络架构, 并着重研究具有 QoS 保证的高动态时隙分配方法.

1 空间站通信网络架构

为使空间站通信网络具有可扩展性和开放性、良好的交互性、较强的鲁棒性以及与现有地面通信网络良好的兼容性等, 空间站通信网络架构应主要包括 4 个部分, 即中继卫星 (Relay Satellite, RS)、空间实验室或空间站通信终端 (SL or SS Communication Terminal, SCT)、航天员终端 (Astronaut Terminal, AT) 和地面网络 (Earth-based Ground Network, EBGN). RS 提供空间实验室 (Space Lab, SB) 或空间站 (Space Station, SS) 连接, 要求其具有在轨处理和存贮数据的能力以及支持 IP 协议的路由功能. 图 1 是空间站通信网络拓扑示意. 从图 1 可以看出, 空间站与地面通信有两种方式, 一是直接与地面站通信, 二是经中继卫星与地面站通信.

空间站通信网络架构应具有以下功能.

(1) 多用户接入能力

支持多用户多终端无缝、可靠、安全接入.

(2) 地面段与空间段双向交互能力

地面段终端与空间段终端可双向访问, 实现资源共享.

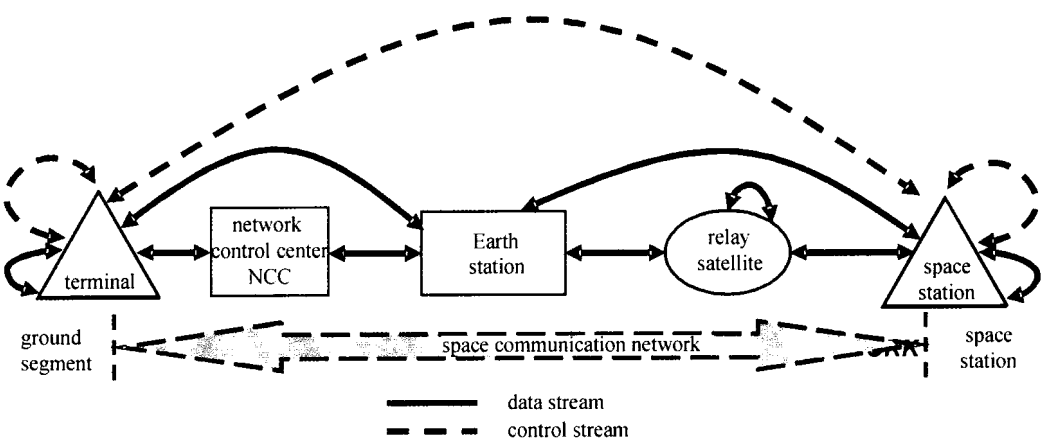


图 1 空间站通信网络拓扑

Fig. 1 Network architecture for space station

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(3) 地面段遥操作有效载荷能力

地面段可根据空间观测和探测目标需求, 实现对有效载荷的遥操作, 获取观测或探测科学数据.

(4) 空间段访问 Internet 业务能力

可为空间段提供基于 IP 的多媒体业务, 满足航天员长期在轨工作需要.

在图 1 所示的空间站通信网络拓扑下, 为满足空间站动态、高效、低成本、宽带、灵活、高 QoS 保证的通信要求, 通信协议的选择十分重要. 从高效、低成本、宽带、灵活、高 QoS 保证的终端互联考虑, TCP/IP 协议最好, 但 TCP 协议并不适合于空间链路环境. 因此, 可采用 TCP 分裂技术 [11], 分别在空间和地面段配置收发网关, 组成 TCP 分裂的空间通信连接, 即 TCP 连接在天地通信网关两端分裂, 并只分别连接各自的应用两端, 而收发网关间则采用适合空间链路环境的传输控制协议, 例如 SCPS 协议, 实现可靠传输. 同时, 空间站采用 IP 技术有利于空间通信网络的灵活性, 并可降低在轨 LAN 和地面 LAN 的建设和维护成本. 事实上, 空间站的 IP 化可能改变空间站与地面间的交互方式, 使其成为更加动态的空间运营模式, 提高空间信道利用率, 实现面向多任务的数据处理和路由的转变, 即不管是空间站与地面直接通信还是经中继卫星与地面通信, 都存在共享下行链路资源的问题, 而由于有效载荷的多样性和可能存在的突发流量, 传统固定带宽的分配方式并不适合, 需要按需动态分配带宽资源. 此外, 由于空间站上网络的整体移动, 为简化科学仪器和降低航天员终端的复杂性, 地面针对移动终端的 Mobile IP 并不适合, 而应考虑支持移动网络的路由技术. 图 2 给出了空间站通信网络协议栈.

2 多任务动态时隙分配

如前所述, 对于空间站通信网络, 无论是与地面直接通信还是经中继卫星与地面通信, 都存在共享下行链路资源的问题. 由于有效载荷的多样性、可能存在的突发流量和空间站的移动性, 传统固定带宽的分配方式效率低而不适合, 多任务带宽分配技术应考虑与网络流量负载匹配, 满足用户 QoS 需求.

2.1 时隙分配模式

通常, 卫星带宽分配模式主要包括固定分配、按需分配、随机接入等三种模式 [12]. 其中, 除固定带宽分配是无需预留的预先计划分配方式外, 其余两种为预留带宽分配方式. 为便于分析, 这里按固定和预留带宽两种分配方式进行分类. 此外, 由于空间站可视范围是一个时间有限窗口, 并考虑到 TDMA 技术在航天领域的普遍应用, 因此, 本文中带宽指的是时隙.

多任务时隙分配模式方式可分为固定时隙分配和预留时隙分配两种.

(1) 固定时隙分配

固定时隙分配, 即空间站和有效载荷被预先分配固定时隙. 当空间站进入中继卫星覆盖区域或地球站工作弧段时, 空间站与有效载荷按固定时隙实现连接, 向地面传送数据, 固定时隙分配过程由地面网络中心 (NCC) 完成 (见图 3).

这种固定时隙的带宽分配模式简单, 可选择静态或预规划的工作方式, 适合数据流量可预测、需求不变的场合. 但是, 在连接期间, 固定时隙分配会出现空闲时隙, 使得时隙利用率低, 扩展性也差, 不适合基于 IP、突发和动态流量及多用户的场合.

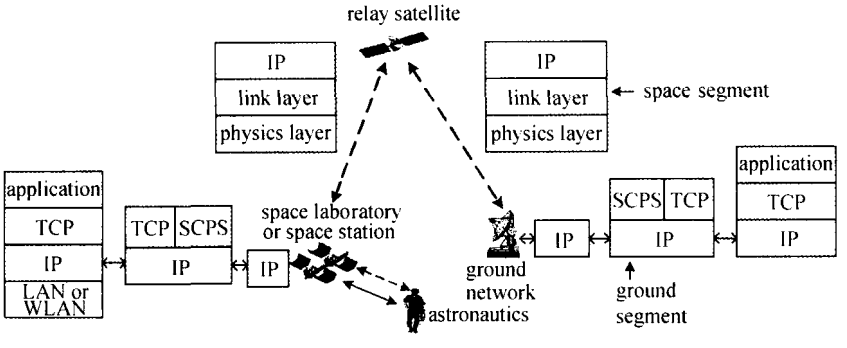


图 2 空间站通信网络协议栈

Fig. 2 Communication protocol stacks for space station

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(2) 预留时隙分配

与固定时隙分配不同, 预留时隙分配将预留一部分时隙给空间站. 预留时隙分配过程可以描述为: 申请-同意、分配-预留和建立-使用. 预留时隙分配过程则由地面网络中心 (NCC) 完成, 如图 4 所示. 其预留时隙分配方式改进了时隙使用效率和系统性能, 适合流量变化的场合.

这两种方式数据传输总时延并不相同, 其中固定时隙分配总时延

$$T_{\mathrm{st}} = T_{\mathrm{trans}} + T_{\mathrm{que}} + T_{\mathrm{prop}}. \tag{1}$$

预留时隙分配总时延

$$T_{\mathrm{res}} = T_{\mathrm{trans}} + T_{\mathrm{que}} + T_{\mathrm{prop}} + T_{\mathrm{res}}. \tag{2}$$

与固定时隙分配总时延相比, 预留时隙分配方式增加了预留时延项, 其大小至少为一个往返时间. 这是由于空间站需要发送预留请求信号到地面站 NCC. 在获得分配的带宽之前, 需要从 NCC 获得分配的带宽信息. 所以, 预留时延应大于或等于往返时间 RTD, 对空间站直接与 NCC 通信而言, 其值为 10 ms 量级. 而经同步轨道中继卫星转发, 其值大于 480 ms. 因此, 预留时隙分配方式不适合于实时应用或其他端到端时延有界的场合.

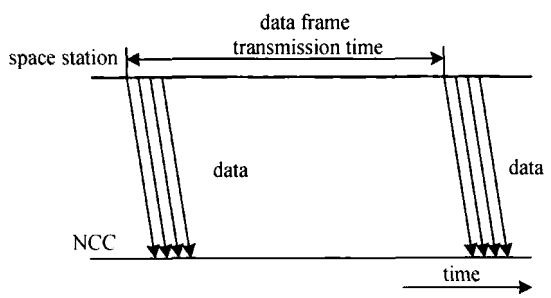


图 3 固定时隙分配过程

Fig. 3 Process of fixed slot allocation

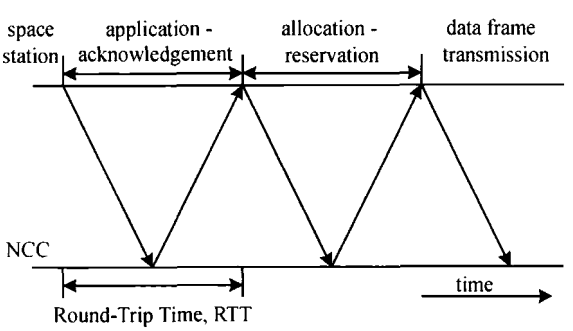


图 4 预留时隙分配过程

Fig. 4 Process of reservation slot allocation

时隙分配模式的选择应根据空间站业务类型和空间站移动性来选择. 与常规时隙分配相比, 由于空间探测的不确定性、多样性以及空间站移动性等, 要求空间站时隙分配具有更强的动态性和灵活性, 因此, 完全固定时隙分配方式和预留时隙分配方式因其各自的缺点而不适合于空间站带宽分配. 为克服这两类时隙分配方式明显存在的缺点, 需要结合这两类时隙分配方式的优点, 设计一种高动态及灵活性更强的混合时隙分配方式, 除需与网络流量负载匹配, 满足用户不同 QoS 需求外, 还应考虑实现的复杂性, 尽可能降低预留开销.

2.2 基于预留的按需时隙分配

基于预留的按需时隙分配方式综合了固定时隙分配和预留时隙分配这两种方式的优点. 这种时隙分配方式将下行信道划分为多个完全一样的子信道. 其中一部分数量固定的子信道按固定时隙模式分配, 其余则按预留时隙信道分配. 这种混合模式的 MAC 方式既可为航天器保证最小带宽, 又可动态分配预留信道, 优化性能.

按实现复杂程度递增的顺序, 基于预留的按需时隙分配方式可分为以下三种. ①下行信道被划分为完全一样的子信道, 其中固定一些子信道用于随机接入和预留申请, 其余用于传输数据; ②不需要预先确定预留或数据传输信道, 可在多个信道中选择预留信道, 信道划分根据数据业务特性动态确定; ③与第二种方式相比, 差别在于数据传输信道不同, 也无需预先确定数据传输带宽.

折中考虑后, 提出了如下预留的按需时隙分配方式.

2.2.1 帧结构

图 5 所示为帧结构. 下行信道被分为 N 个信道, 第一个时隙被分配给预留信道, 其余 $N-1$ 个信道用于数据传输. 预留信息包括数据源 ID 号和源数据 (短数据和长数据). 同时, 数据时隙边界可移动, 目的是逐帧优化边界位置.

表 1 列出了 RD-TDMA 协议从上层到物理层的逻辑事件.

预留时隙申请包括两种类型: 时隙认可申请和时隙释放申请. 与之对应, NCC 响应类型也有两种, 即认可和拒绝. 所有的时隙释放申请都是不被拒绝的.

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 给出了预留时隙申请时的逻辑关系.

2.2.2 时隙分配过程

基于预留的按需时隙分配效率取决于空间站与 NCC 连接期间处于静默状态时的时隙利用率. 连接期间, 只有处于激活状态时, 空间站才能在分配的时隙内发送数据; 处于静默状态时, 原先分配的时隙可重新分配给其他处于激活状态的航天器. 当某个时隙分配给某航天器时, 该时隙被标注为不能提供, 即其他航天器不能再使用, 否则被标注为可提供. 如图 6 所示, NCC 通过反馈信道通知所有航天器每个时隙的状态和数据传送结果 (例如, 分配申请许可, 分配申请拒绝或重新分配许可等).

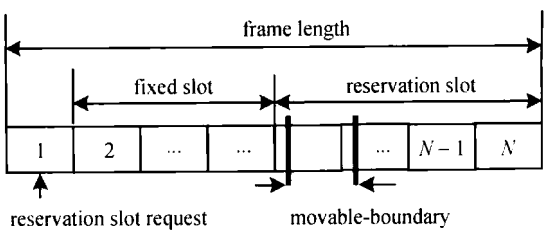


图 5 帧结构

Fig. 5 Frame structure

表 1 预留时隙申请时的逻辑关系

Table 1 Logical relation of reservation slot request

预留消息类型		时隙认可申请	时隙释放申请
响应类型	认可	√	√
	拒绝	√	–
响应超时		√	√

时隙分配由 NCC 和空间站执行, 其过程如下.

(1) NCC 时隙分配

NCC 通过第一个预留时隙申请信息识别预留类型. 如果是时隙认可申请, 并且不会出现预留时隙碰撞, NCC 将给申请用户分配时隙. 如果是时隙释放申请, NCC 将立即认可时隙释放申请. 时隙申请流程如图 7 所示.

(2) 空间站时隙分配

空间站时隙分配有两种模式, 即激活时隙分配和静默时隙分配.

激活时隙分配模式. 当空间站或有效载荷处于连接期间的激活状态时, 空间站或有效载荷将工作在激活时隙分配模式. 此时, 无论是否有空闲时隙, 空间站或有效载荷都要发送时隙预留请求信息. 这样, 激活时隙分配出现三种情况. 第一, 如果时隙申请被认可, 空间站或有效载荷将在分配的时隙内开始发送数据; 第二, 如果时隙申请被拒绝, 空间站或有效载荷将随机重新发送预留请求信息; 第三, 如果没有收到 NCC 反馈的广播信息, 空间站或有效载荷将随机重新发送预留请求信息.

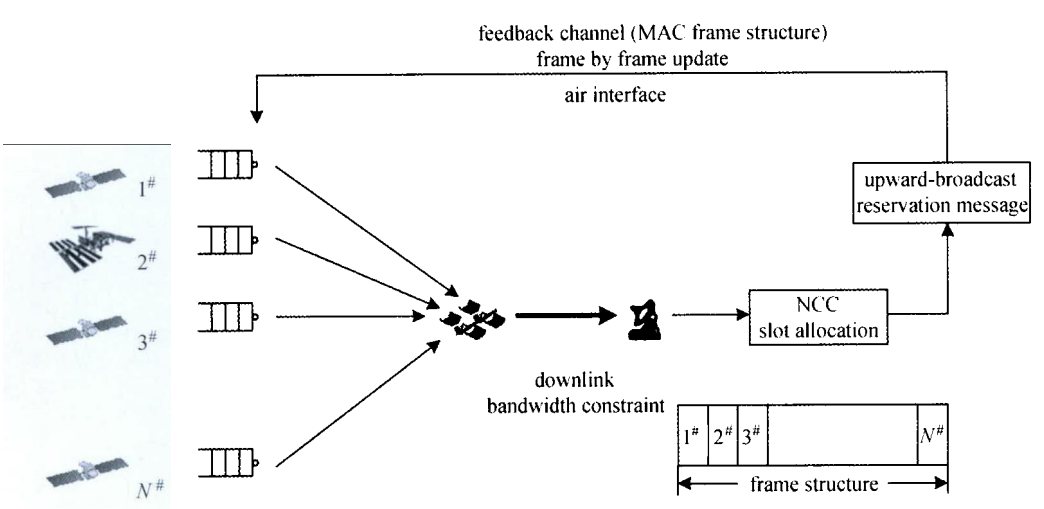


图 6 时隙分配架构

Fig. 6 Slot allocation architecture

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

静默时隙分配模式. 当空间站或有效载荷处于连接期间的静默状态时, 空间站或有效载荷将工作在静默时隙分配模式. 此时, 尽管空间站或有效载荷与 NCC 处于连接状态, 但空间站或有效载荷并没有发送数据的需求, 相反, 其可向 NCC 发送时隙释放请求信号. 如果在预定的时间内没有收到 NCC 发来的重新分配许可信号, 将随机重新发送并重新分配许可请求信号.

2.3 动态时隙分配算法

根据 2.2 节提出的基于预留的按需时隙分配方式, 研究动态时隙分配算法.

(1) 模型建立

由图 1 和图 6 可知, 基于预留的按需时隙分配空间数据传输系统由空间站、其他 LEO 航天器、GEO 中继卫星和地面网络 (NCC) 组成. 空间站和其他 LEO 航天器探测数据经 GEO 中继卫星传送到 NCC 或直接传送到 NCC, 即空间站和其他 LEO 航天器共享同一条下行链路. 因此, 基于预留的按需时隙分配空间数据传输系统可模拟成具有不同优先级的数据流, 通过空间路由器转发到地面 (见图 8).

根据 2.2 节, 设 $\boldsymbol{H}$ 表示所有航天器集合, $\boldsymbol{H}_{\mathrm{a}}$ 表示所有处于激活状态的航天器或有效载荷集合, $\boldsymbol{C}$ 表示业务的 QoS 等级. 在时隙分配中, 地面 NCC 根据航天器占用时隙情况, 生成一个时隙分配表 (Slot Allocation Table, SAT), SAT 表包括航天器 ID 以及第一个和最后一个时隙等信息. NCC 通过反馈信道向所有处于激活状态的航天器广播 SAT 信息, 使每一个激活航天器获知自身分配到的时隙.

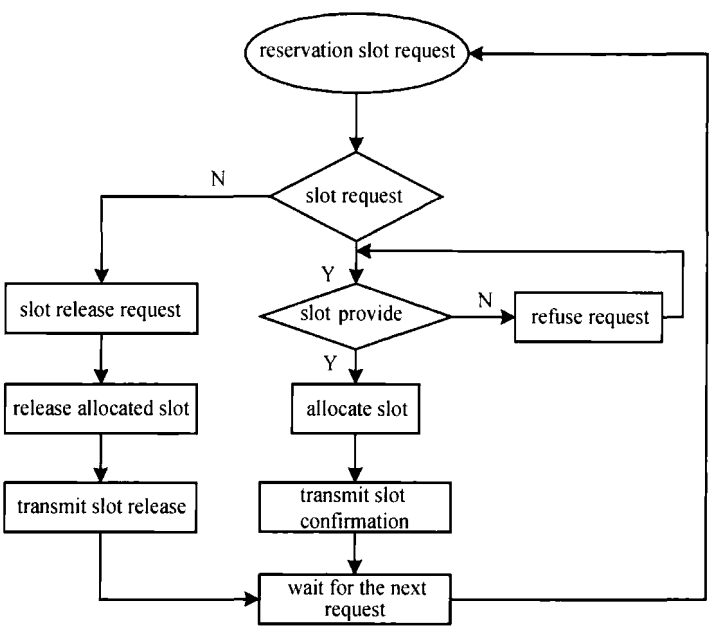


图 7 时隙申请流程

Fig. 7 Flow chart of slot request

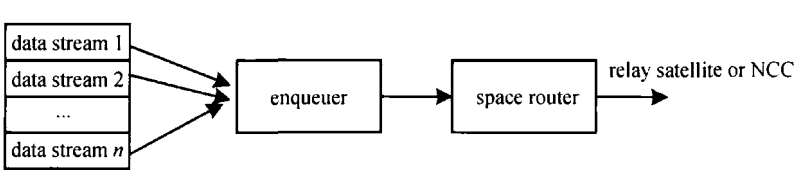


图 8 时隙分配模型

Fig. 8 Model of slot allocation

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(2) 问题描述

假设 N 表示所有提供的时隙数, 惩罚加权系数为

$$v_{kl}\ (k \in \boldsymbol{H}_{\mathrm{a}}, l \in \boldsymbol{C}),$$

其中, $l \in \boldsymbol{C}$ 为第 k 个激活有效载荷的 QoS 需求等级. 这样, 通过定义惩罚加权系数和效用函数, 计算得到累计惩罚加权系数的大小, 获得时隙分配的最优解, 即为累计惩罚加权系数最小时的时隙分配解.

每次生成 SAT 表之前, NCC 需要收集时隙分配的更新信息, 包括航天器数目、处于激活状态的航天器数目和所需时隙 $\boldsymbol{D}$ 及惩罚因子. $\boldsymbol{D}$ 是一个二维矩阵 $(D_{kl}), l \in \boldsymbol{C}$. 这里 $\boldsymbol{D}$ 可由集合 $\boldsymbol{S}$ 直接得到, 也可从航天器 $\boldsymbol{S}$ 中采集信息计算得到. 而矩阵 $\boldsymbol{S} = (S_{kl})$ 表示传输数据时空间站或有效载荷分配的时隙数.

如果 U_{kl}, L_{kl} 分别表示对应航天器或有效载荷所需时隙的上界和下界, 则上述问题可表示为以下有约束的线性优化问题.

$$\min \sum_{k \in \boldsymbol{H}_a} \sum_{l \in \boldsymbol{C}} v_{kl}[D_{kl} - S_{kl}]^+. \tag{3}$$

subject to:

$$S_{kl} \leqslant \min(U_{kl}, D_{kl});$$

$$S_{kl} \geqslant L_{kl};$$

$$\sum_{k \in M_a} \sum_{l \in C} S_{kl} \leqslant N,$$

$$\forall S_{kl} \in \{0, 1, 2, \cdots, N\}.$$

式中, 函数 $[a]^+$ 定义为

$$[a]^+ = \begin{cases} a, & a > 0; \\ 0, & a \leqslant 0. \end{cases} \tag{4}$$

(3) 问题求解

求解上述问题, 需要事先确定 D_{kl}, U_{kl}, L_{kl} 和 v_{kl}, 其算法如下.

①排序, 对惩罚矩阵 (v_{kl}) 按照从大到小的顺序, 重新排列成一个矢量 $\boldsymbol{V}$.

②所需时序下限分配. 确定激活航天器所需时隙的下限.

③分配额外的时隙. 在第二步后, 根据矢量 $\boldsymbol{V}$ 顺序, 为激活航天器分配可提供的时隙, 直至满足需要或达到上限.

④最后分配时隙. 以连续的方式, 在一个帧内, 为每一个数据流分配时隙.

⑤生成 SAT 表.

3 仿真场景及结果

拟采用 STK 和 NS2 软件进行仿真以验证前面提出的方法.

3.1 仿真场景与参数设置

为简化起见, 仅考虑一颗中继卫星, 避免了卫星切换问题, 并认为空间站位于中继卫星的覆盖区. 根据图 1 所示的空间站通信拓扑结构, 假设某空间站 (轨道倾角 42.4°, 近地点 200 km, 远地点 350 km) 探测数据经某中继卫星 (纬度 0°, 东经 77°, 高度 35 806 km) 传回地面. 这样, 可计算得出某空间站经某中继卫星到地面的无线电信号传输的往返时间 RTD 应大于 0.48 s (详见 3.2 节). 根据前面的分析, 有 $MT_{\mathrm{f}} = 0.48\,\mathrm{s}$. 如果 $M = 5$, 则 $T_{\mathrm{f}} = 0.096\,\mathrm{s}$. 此外, 假设总时隙数 $N = 64$, 中继卫星下行速率为 $2\,\mathrm{Mbit{\cdot}s^{-1}}$, 数据包长为 512 Byte. 同时, 为满足空间探测的不确定性和动态性要求, 假设基于 NS2 的流量产生器数据流呈不均匀分布.

衡量以上方法性能的指标为吞吐量和端到端的时延. 吞吐量指单位时间内地面站接收到的数据大小, 反映了时隙效率水平. 端到端的时延则指有效载荷数据产生到地面接收到同一个数据的时间间隔.

3.2 仿真结果

仿真结果包括空间站到地面站之间的传输时延、吞吐量和端到端的时延.

(1) 传输时延

空间站到地面站之间的传输时延有两部分, 一是空间站到中继卫星之间的传输时延, 这部分是可变的; 二是中继卫星到地面之间的传输时延, 这部分是固定不变的.

根据 3.1 节中的某空间站和某中继卫星的轨道参数, 应用 STK 软件, 并取地球半径近似为 6400 km, 可计算空间站飞行过程中经某中继卫星到北京地面站间的传输时延. 结果如图 9 所示. 从图 9 可见, 空间站到地面站之间的传输时延在 0.23~0.35 s 之间变化, 变化范围为 0.12 s.

(2) 端到端的时延

图 10 是有效载荷或航天器激活率分别是 100%, 75%, 50% 和 25% 时, 端到端时延的仿真结果.

由图 10 可见, 端到端时延在 0.26~0.50 s 之间变

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

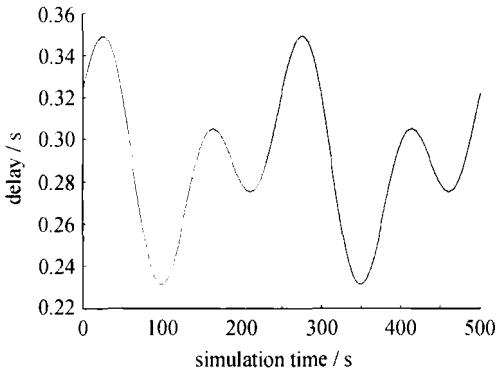


图 9 空间站到北京站之间的传输时延

Fig. 9 Delay of space station between Beijing station

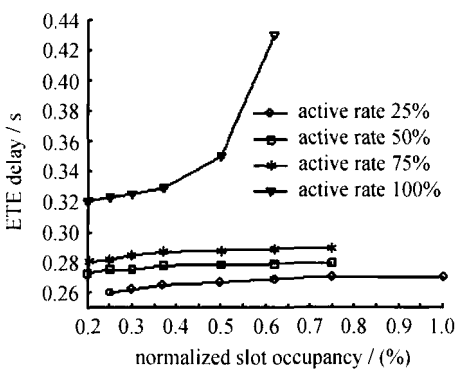


图 10 提出协议的端到端的时延

Fig. 10 ETE delay of the presented protocol

化. 考虑到空间站的移动性以及从空间站到地面站传输时延的波动性, 端到端时延在 0.26~0.50s 之间变化的结果还是不错的. 这种情况是由时间同步误差造成的, 并可解释为, 当某个有效载荷或航天器需要发送数据包时, 该有效载荷或航天器需要计算传播时延, 例如 t_1, 并判断是否分配有数据传送时隙. 如果有, 其将发送数据包, 否则, 其将判断数据包发送的时隙, 例如 t. 然而, 由于空间站的移动性, 时隙 t 时的传播时延将变成 t_2, 而不是 t_1. 直接后果是, 这个有效载荷或航天器将可能丢失分配到的数据时隙, 并且当有效载荷或航天器发送的数据包时延不合适时, 端到端的时延将明显受到影响. 从图 10 还可以看出, 激活的有效载荷或航天器越少, 端到端的时延越小.

(3) 端到端的时延与吞吐量关系

为研究端到端的时延和吞吐量的关系, 激活状态航天器或有效载荷数总共为 4, 并且这 4 个激活状态

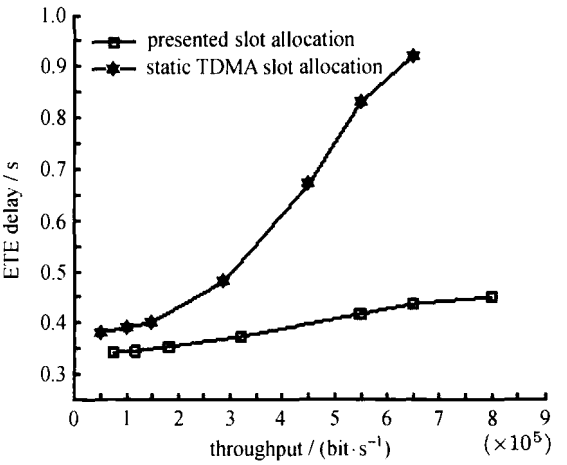


图 11 提出协议的端到端时延与吞吐量之间的关系

Fig. 11 Relation of ETE delay with throughput

航天器或有效载荷数的数据流量比固定为 3:2:2:1. 图 11 为本文时隙分配模式和静态 TDMA 时隙分配模式下端到端时延与吞吐量关系的仿真结果. 从图 11 可以看出, 本文时隙分配模式的端到端时延明显小于静态 TDMA 的端到端时延. 这是由于本文提出的时隙分配模式可充分利用静默状态航天器或有效载荷的时隙, 而静态 TDMA 的时隙分配模式则浪费了这些时隙. 另一个原因是, 本文时隙分配模式可根据数据流量的特点, 动态分配时隙, 并且探测数据突发性越强, 提出的时隙分配模式性能则越好.

4 结论

面向空间站多任务数据处理和多路由的转变, 为高效、灵活利用有限的空间信道资源, 提高空间站运营模式的动态性, 提出一种基于 IP 的空间站通信网络架构. 根据探测任务的不同 QoS 等级, 重点研究了多任务动态时隙分配方法, 即一种基于预留的具有 QoS 保证的按需时隙分配方法, 最后基于 NS2 和 STK 进行了仿真, 并得出如下结论.

①空间站经中继卫星到地面的数据传输时延在 0.23~0.35s 之间.

②空间站到地面的端到端传输时延受到激活的有效载荷或航天器数影响, 激活的有效载荷或航天器数越少, 端到端的时延越小.

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

③空间站到地面的端到端传输时延受时间同步的影响, 需要提供空间站通信系统的时间同步精度.

④探测任务的动态性越强, 探测数据的突发性越强, 提出的时隙分配方法性能越好.

参考文献

[1] Wood L, Ivancic W, Hodgson D. Using internet nodes and routers onboard satellites [J]. *Int. J. Satell. Commun. Netw.*, 2007, **25**(2):195-216

[2] Edwards C D, Depaula R. Key telecommunications technologies for increasing data return for future Mars exploration [J]. *Acta Astron.*, 2007, **61**(1):131-138

[3] Hogie K, Criscuolo E, Parise R. Using standard internet protocols and applications in space [J]. *Comp. Networks*, 2005, **47**(5):603-650

[4] Blott J, Wells S, Eves J. The STRV-1 microsatellite schemes: Exploiting the geosynchronous transfer orbit [J]. *Acta Astron.*, 1997, **41**(4):481-491

[5] Jackson C, Smithies C, Sweeting M. NASA IP demonstration in-orbit via UoSAT-12 minisatellite [C]//Proceedings of the 52nd International Astronautical Congress. Toulouse: International Astronautical Congress, 2001: 235-243

[6] Curiel S, Boland L, Cooksley J. First results from the Disaster Monitoring Constellation (DMC) [C]//Proceedings of the 4th IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation. Berlin: International Academy of Astronautics, 2003: 1302-1318

[7] Cisco. Cisco Internet in Orbit and Mobile Router in Space [EB/OL][2010]. http://www.informationweek.com/news/government/enterprise-apps/226000020

[8] Hu Shengbo, Meng Xin, Jiang Lizheng, *et al.* Link layer protocol sensing for deep space exploration network [J]. *Comp. Eng.*, 2009, **35**(5):79-81. In Chinese (胡圣波, 孟新, 蒋立正, 等. 深空探测网络中的链路层协议感知 [J]. 计算机工程, 2009, **35**(5):79-81)

[9] Hadjitheodosiou M, Chen Y. Communication support for future Earth science space missions [J]. *Comp. Network*, 2004, **46**(3):321-342

[10] Bhasin K, Hayden J. Space internet architectures and technologies for NASA enterprises [C]//Proceedings of Aerospace Conference. Big Sky: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2001: 931-941

[11] Hu S. A novel split-connection mechanism based on satellite transport protocol [C]//Proceedings of the 5th International Conference on Wireless communications, networking and mobile computing. Beijing: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2009. 1-4

[12] Aracil J, Morato D, Magana E. IP traffic prediction and equivalent bandwidth for DAMA TDMA protocols [C]//Proceedings of Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Beijing: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2003. 2514-2518

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net