

基于 IP over CCSDS 的空间通信 网络天地一体化研究

张胜磊 刘淑茜 张 坚

(北京航天飞行控制中心)

摘 要 为实现构建天地间端到端通信网络一体化,通过分析研究 CCSDS 建议,明确基于 IP over CCSDS 的航天测控通信网络天地一体化概念,分析和选择相关的数据交换协议,构建适合多地址航天器接入地面网络的端到端通信网络协议栈模型,并提出基于 CCSDS 的 IP 数据报传输方法。

关键词 CCSDS IP over CCSDS 网络 协议 一体化

1 引 言

空间数据系统咨询委员会(CCSDS)继提出分包遥测(Packet Telemetry)和分包遥控(Packet Telecommand)等用于具有中等通信需求的近地和深空任务的建议书后,又制定了高级在轨系统(AOS)标准。AOS 采用了开放系统互联(OSI)的高层服务协议,具有网络接入能力,使空间数据系统与地面因特网连接在一起,实现空间多媒体通信。主要用于各种承担更高级复杂任务的航天器以及新型空间运输系统,这些航天器都需要比常规任务更复杂的数据处理业务和更高的数据传输速率。

近年来,我国航天技术飞速发展,空间任务逐步进入了应用阶段。一些复杂任务航天器提出的许多数据处理任务难度逐渐加大,除了常规的遥测、遥控及跟踪数据外,还出现了科学实验数据传输、话音通信、运动图像和静止图像传输等。由于传送信息复杂化,具有较高的交换量和数据速率,需进行动态管理,要求当前点对点的数据交换模式须向基于天基通信网的网络传输模式发展,构建天地统一网络,提供多层次数据交换业务,实现数据的端到端传输。因此,CCSDS 标准满足我国空间任务的需要。航天技术要解决面临的问题,开展空间任务的国际合作,航天测控通信与数据系统体制就一定要与 CCSDS 标准接轨。本文以 CCSDS 协议为基础,提出了基于 IP

over CCSDS 的航天通信天地一体化网络的思路及实现方法。

2 CCSDS 主网模型

CCSDS AOS 空间数据系统概念中最重要的部分是 CCSDS 主网 CPN,它起到空间计划数据管理网的作用,能提供端到端的数据流通,以支持空间任务用户。在 CCSDS 701.0-B-3 建议书中描述的 CPN 是一个网络天地一体化的概念模型,但还没有解决如何构建的问题。图 1 为 CPN 结构图。可见,CPN 是由轨道段中的 CCSDS 星载网通过 CCSDS 空间链路子网(CSL)与 CCSDS 地面网(CG)或另一个轨道段中的 CCSDS 星载网相连接。其中 CSL 起核心子网的作用,它既承载了星载网和地面网用户终端间的数据传输,同时又提供了网络节点间的同步和异步数据传输。

CCSDS AOS 既定义了数据交换的包结构,又定义了数据交换的协议—空间通信协议规范(SCPS,包括文件协议 SCPS-FP,传输协议 SCPS-TP,安全协议 SCPS-SP,以及网络协议 SCPS-NP 等),且基于 CCSDS 的天地网络构建方法有多种选择。在我国航天天地一体化网络中的应用需结合实际情况,最大限度地利用现有测控通信网络的资源,构建适合需要的天地网络平台,因此,其关键在于协议的选择及网络平台的构建方法,本文选择 IP over CCSDS 模式实现。

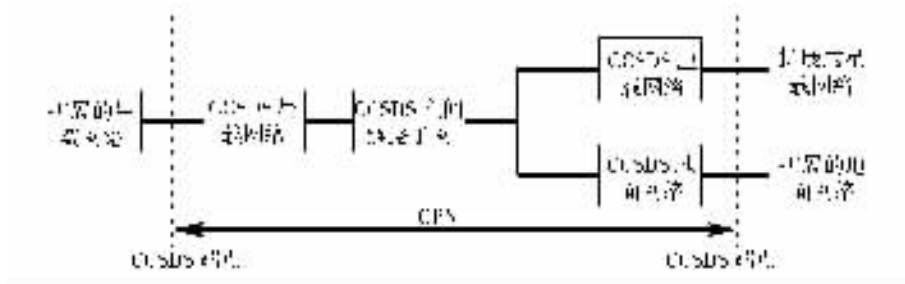


图 1 CCSDS 主网模型之空空、空地配置

3 基于 IP over CCSDS 的航天测控通信天地一体化网络设计

以 CPN 为基础，基于 IP over CCSDS 模式构建的天地一体化通信网络数据传输系统结构图如图 2 所示。可划分为空中用户、测控网及终端用户等三部分。

(1)空中用户部分。指的是各种可接入空间网络的多地址(有星上路由器)或单地址航天器。航天器上的数管系统将测控网送来的数据分发到空间各用户,同时负责空间各用户的数据交换,收集空间各用

户的数据并发送到地面。

(2)测控网部分。包括地面测控站、中继卫星、地面中继站及相应的地面航天通信网等,负责将航天器送来的数据分发到地面终端用户、研究中心、控制中心等,同时将终端的指挥控制数据,经地面测控站或中继卫星线路发送到相应的航天器。

(3)应用中心及终端用户部分。直接与航天测控通信专网交换数据,以获取航天器的数据和管理航天器的有效载荷等分系统。Internet 用户通过防火墙与航天通信专网相连,进行相关操作。在该过程中,测控网起着数据传输的“桥梁”作用。

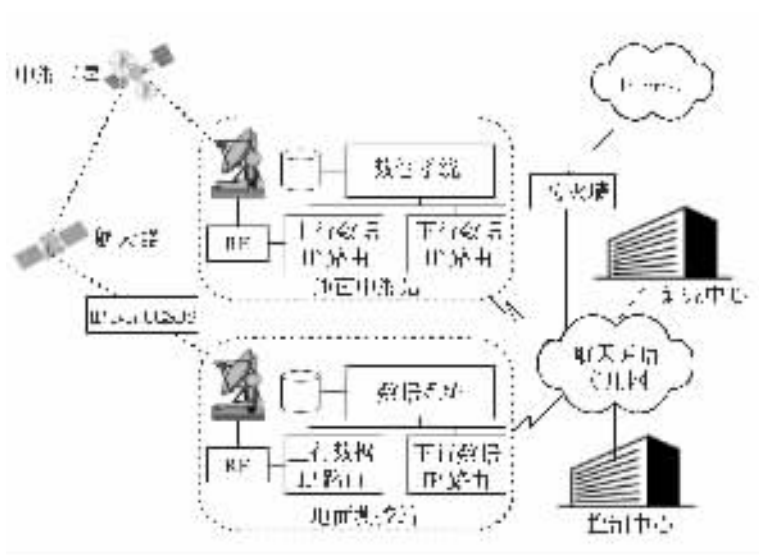


图 2 基于 IP over CCSDS 的天地一体化通信网络数据传输系统结构图

4 技术实现要点

随着 Internet 的飞速发展及 CCSDS 一系列裁剪 Internet 协议的推出,当前,适合空间通信网络的协议可能的组合有多种,如图 3 所示。针对空间通信长时延、带宽非对称、信道噪声大、空地通信频繁中断等特性,需要选择合适的数据链路协议,在此基础上选择合适的网络层协议用以屏蔽空间和地面底层链

路的差异。

4.1 数据链路层

构建的天地一体化测控通信网络必须能为地面用户提供与特定航天器间的端到端的连接,但是由于空间网络和地面网络底层链路的差异,在链路层采用与地面网络相同协议的方法是不现实的或是不可靠的,须采用其他协议。而 CCSDS 是为空间通信“量身定做”的协议,NASA 的 OMNI 项目试验证明,

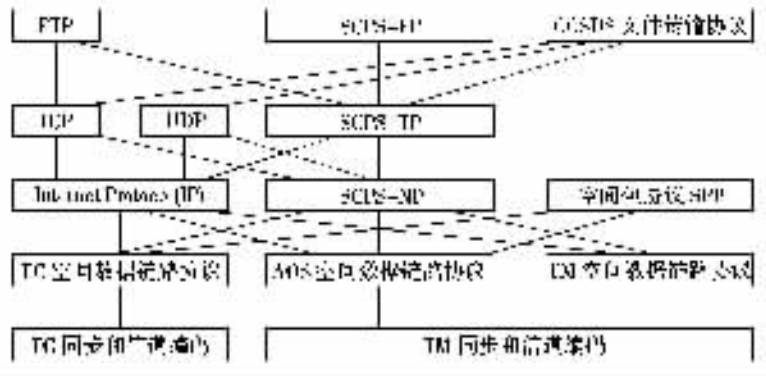


图 3 空间链路协议可能的组合

使用 CCSDS 协议在数据吞吐率和协议开销等方面的性能优于在空间网络中使用地面网络中成熟的数据链路协议,如 HDLC,加之使用 CCSDS 标准协议便于国际合作和交流,因此链路层选用 CCSDS TC、TM 及 AOS 空间数据链路协议。

4.2 网络层

在网络层选择 IP 协议,用 IETF(Internet 工程任务组)开发的一系列标准路由协议(如 RIP、OSPF、BGP 等)选路。IP 协议是一个承上启下的优秀协议平台,选择 IP 协议而非 SCPS-NP 协议应用于天地一体化网络中,可以最大限度地利用商业化的成熟设备,不必改造地面终端操作系统采用的通用协议,有利于降低建设和运行成本。特别的是,最新版的 CCSDS 建议都允许将 IP 包与其它 CCSDS 网络层格式数据包一起放在 CCSDS 传输帧中传输,方便了 IP 协议在空间数据链路中的应用。如今,网络技术的飞速发展推动着测控通信技术的革新,靶场内的数据传输开始采用 TCP/IP 协议,因此,网络层协议采用 IP 协议,也符合计算机网与测控通信网融合的大趋势。

4.3 传输层和应用层

传输层选择 TCP 和 UDP 协议。网络层协议 IP 是面对独立报文,不面向连接的,不保证报文的可靠传输,而 TCP 则负责确保数据端到端的可靠交付。因此,卫星链路对 TCP/IP 数据传输的影响主要体现在传输层。

在空间网络环境下,TCP 面临的主要问题是高误码率链路和大的传输时延等的重大影响。TCP 是一个丢失敏感协议,但不区分拥塞丢失和链路错误丢失,因此,高误码率的卫星链路会大大地降低 TCP 的性能。网络没有发生拥塞,但较大的误码率会触发

窗口减小机制,从而降低网络吞吐量。传输延迟越大对 TCP 吞吐量的影响也越大,尤其星座系统动态拓扑引入可变的环路时间 RTT,增加了 TCP 阻塞控制难度,影响传输效率。

为提高 TCP 在卫星网络下的效率,目前对基本 TCP 提出了不少改进措施。例如 TCP 扩展协议 RFC1323、RFC2018 等就很好地解决了 TCP 在卫星网中的应用所遇到的问题。特别是 RFC1323 针对延迟大、速率高的网络,即所谓的“long-and-fast network”。由此,可利用 TCP 在正常情况下对航天器实施控制;利用基于 TCP 的 FTP 实现可靠的文件传输;利用基于 TCP 的 SMTP(简单邮件传输协议)进行存贮转发式的科学数据传输及航天器的控制。

传输层的另一个协议 UDP 是无连接的,因此,可利用 UDP 传送航天器的实时遥测数据,并在异常情况下对航天器实施盲控。

5 基于 IP over CCSDS 的天地一体化网络协议栈模型设计

图 4 为天地一体化通信网络端—端空地数据系统的协议配置图,适合于多地址航天器。图中,LNK 指子网的数据链路层协议,LAN 指子网的物理连接。航天器数据管理系统与地面终端系统使用 TCP/UDP 或其他应用层协议来相互通信。CCSDS 链路层协议在航天器和地面终端系统间传输应用数据。航天器的载荷通过星上 Ethernet 与星上数管系统连接,需要的载荷数据通过星上路由器及射频调制设备发到地面关口站,通过协议转换、解包等过程得到所需的 IP 数据报,通过地面网络路由器送达指挥控制中心及终端用户,地面控制指令等相关数据送达航天器的过程与此过程相反。

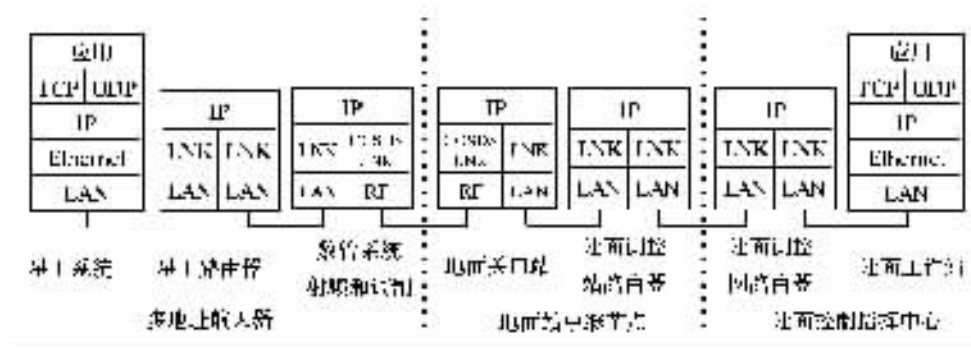


图 4 多地址航天器与地面站的端到端通信网络协议栈

6 基于 CCSDS 的 IP 数据报传输方法

用户通过 CCSDS 空间链路协议传输 IP 包有两个方式可以选择，即以包的形式或者以数据流的形式。前种方式的优点在于 CCSDS 数据链路可提供再同步的机制；若以数据流的方式传输 IP 数据报，那么必须在数据流中设置同步标志用于 IP 数据报的重建。另一方面，IP 协议有 IPv4 和 IPv6 两个版本，而 IPv6 未包含授权的 CCSDS 包版本号，须将 IPv6 数据报顺序包含在一个 CCSDS 封装包里面，因此，采用不同的 IP 协议版本时，用到的 CCSDS 服务也不相同，传输方式也有差异，如图 5 所示。

(1) 将 IPv4 包放在一个或多个 CCSDS 空间数据链路帧中传输。这种方式用到了 CCSDS AOS VCP (虚拟信道包 Virtual Channel Packet), TC VCP 或 TC MAPP 传输服务 (多路访问点 MAP: multiplexer Access Point; MAPP: MAP Packet);

(2) 将 IPv4 包作为连续的 8 位一组的数据流，

在 CCSDS 空间数据链路帧中进行传输。这种方式用到了 CCSDS AOS VCA (虚拟信道访问 Virtual Channel Access) 或者 TC MAPA (MAP Access) 传输服务；

(3) 将 IPv4 包封装在 CCSDS 包里面进行传输。这种方式用到了 CCSDS 封装服务，其目的是为了便于从 IPv4 到 IPv6 的移植；

(4) 将 IPv6 包放在一个或多个 CCSDS 空间数据链路帧中传输。这种方式与上一种方式相同，唯一的区别是传输的 IPv6 包；

(5) 将 IPv6 包作为连续的 8 位一组的数据流，封装在一个 CCSDS 包中进行传输。这种方式用到了 CCSDS 封装服务。

可见，IP over CCSDS 的基本过程是：第一步，选择 IP 数据报；第二步，选择 IP 数据报的传输方式；第三步，选择所用的 CCSDS 数据链路层协议；第四步，选择相关的 CCSDS 传输服务。

7 结 论

随着空间任务国际合作的逐渐增多和 CCSDS 的不断发展，CCSDS 在空间通信方面的独特优势显而易见，特别是 CCSDS AOS 建议的推出，提出了网络天地一体化的概念思想。本文在此概念基础上，进行了初步研究，提出了基于 IP over CCSDS 的航天测控通信网络天地一体化思想，分析和选择了适合的数据链路层、网络层、传输层和应用层协议；最后构建了适合多地址航天器接入地面网络的端到端通信网络协议栈模型，明确了基于 CCSDS 的 IP 数据报传输方法。目前，CCSDS 协议正在不断发展和完善，地

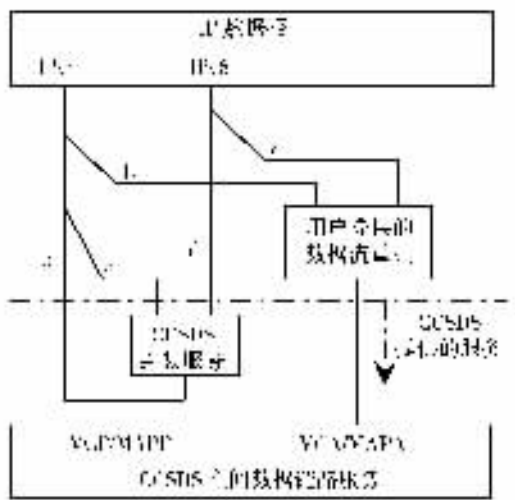


图 5 基于 CCSDS 数据链路的 IP 数据报传输方式

(下转第 42 页)



图 7 系统管理员角色用户管理界面



图 8 组长角色同步遥测数据管理界面

(上接第 25 页)

面网络互联技术在无线和空间通信方面也在深入发展,因此,对航天测控通信网络天地一体化的研究将有助于空间网络和地面网络的结合,促进航天技术的不断发展。◇

参 考 文 献

[1]CCSDS Advanced Orbiting Systems, Networks and Data Links: Architectural Specification, Blue Book, CCSDS 701.0-B-3, June 2001

[2]AOS Space Data Link Protocol. Recommendation for Space Data System Standards, Blue Book, CCSDS 732.0-B-2, July 2006
 [3]TM Space Data Link Protocol. Recommendation for Space Data System Standards, Blue Book, CCSDS 132.0-B-1, September 2003
 [4]TC Space Data Link Protocol. Recommendation for Space Data System Standards, Blue Book, CCSDS 232.0-B-1, September 2003
 [5]黄薇,吴伟陵.OMNI—实现空间通信系统标准化的新思路[J].电视技术,2003(5)17-20
 [6]支持交互式遥操作的空间宽带网络关键技术.中国科学院空间科学与应用研究中心.