

文章编号:1001-893X(2010)04-0092-04

一种星地一体化路由设计的卫星 IP 网络^{*}

范 继,王 宇

(中国空间技术研究院 西安分院,西安 710100)

摘 要:现有大部分支持 IP 的卫星系统只是提供一个连接地面路由器的物理通道,难以满足宽带接入、多媒体服务以及星地网络一体化等新需求。为此,提出了一个分组传输和交换均基于 IP 的 GEO 卫星系统,并从传输网络和路由结构两方面进行了描述。并针对星上资源紧张现状,采用了一种地面路由星上交换的新设计思路。通过星上 IP 交换可实现大量终端间的单跳通信,一个可扩展的集中式 IP 路由结构可有效减少通过卫星的路由流量,使得通信效率提高的同时,能实现卫星网络与 Internet 的无缝兼容。

关键词:地球同步轨道;卫星网络;因特网协议;传输网络;路由结构;无缝兼容

中图分类号:TN927 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2010.04.020

An IP-Based Satellite Network with Integrative Design of Space and Ground Segments

FAN Ji, WANG Yu

(Xi'an Institute of China Academy of Space Technology, Xi'an 710100, China)

Abstract:Most existing IP-based satellite systems have been simply used to provide physical access between terrestrial routers. It is difficult to satisfy some new applications, such as broadband access, multimedia services and integration of satellite network and the Internet, etc. In this paper a geostationary earth orbit(GEO) satellite system is proposed within which packet transport and switching are based on IP. This system is described from its transmission network and routing architecture. A new idea, which is on-ground routing and on-board switching, is adopted for the resource constraints of satellite. Through an on-board IP switch, the one-hop communication between two satellite terminals can be realizable while there are a large number of terminals. A scalable concentrative routing architecture can effectively avoid large volumes of routing traffic via satellite. Such designs make communications more efficient, at the same time the satellite network can be seamlessly compatible with Internet.

Key words: geostationary earth orbit (GEO); satellite network; IP; transmission network; routing architecture; seamlessly compatible

1 引 言

IP(Internet Protocol)在地面网络中已占据了支配地位,但其在卫星系统中的应用仍比较有限。为与地面 Internet 互联,卫星系统的 IP 化已是其发展的一个趋势。目前,大部分支持 IP 包传送的卫星系

统,不管是透明转发还是再生处理,卫星都只是提供一个在地面路由器之间的物理连接通道而已。这种方法适用于第一代的星地组网要求,但却难以满足像卫星宽带接入、多媒体、信息中继以及星地网络一体化等新需求。

从国内外的情况来看,具有星上 IP 路由交换功

^{*} 收稿日期:2010-01-28;修回日期:2010-03-09

能的卫星系统都吸引了较大的资金和兴趣用于研究与发展。如 CLEO(Cisco router on Low Earth Orbit)^[1]项目,星上搭载了一个真正的思科路由器;E2E-TLC(End to End Telecommunication Satellite System with On-board IP Routing)^[2]项目,星上进行 IP 包路由;TSAT (Transformational Satellite Communications)^[3],星上装载一个 NGPR(Next - Generation Processor Router)用于包交换;SpaceWay3^[4],星上整合了一个具有路由功能的星载处理器;IRIS(Internet Protocol Routing In Space)^[5],星上搭载一个 IP 路由器用以测试空间路由技术。这些项目针对卫星上实现 IP 路由的研究都是通过像地面网络一样在网络层级来实现的,它带来很多优势的同时,对星上资源的需求也急剧增加。

限于现有硬件条件的制约,星上资源紧张的局面暂时难以缓解。鉴于此,本文提出了一种地面路由星上交换的思路,并基于此构建一个 GEO 卫星 IP 网络。这一系统需要实现的目标主要有:①实现大量卫星终端的单跳通信以及和地面网络的 IP 互联;②设计一个可扩展的路由结构以减少通过卫星的路由流量;③对终端进行分区以便路由和管理控制。文章将主要从系统的传输网络和路由结构两方面来进行阐述。

2 卫星网络结构

卫星 IP 网络系统主要围绕具有多波束能力的地球同步轨道(Geostationary Earth Orbit, GEO)宽带卫星在网络层面展开。卫星网络的组成主要包括宽带卫星、地面网络控制中心(NCC)和卫星终端(ST),如图 1 所示。星上具备交换的能力,允许任意波束覆盖下的卫星终端间单跳通信。在服务覆盖区内,所有的网络管理、服务访问、终端管理以及路由表建立等都由 NCC 负责。

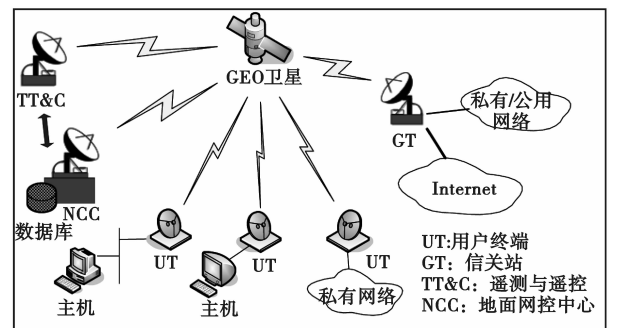


图 1 卫星系统结构
Fig.1 The architecture of satellite system

对于路由器来说,路由计算和更新、路由表的维护以及 IP 分组的选路占据了大部分资源,使得路由处理速度成为制约路由器的瓶颈。在参考地面高速路由器设计和充分考虑星上限制条件的基础上,提出了一个基于星地一体 IP 路由的卫星网络设计思路:

(1)将卫星和地面终端视作一个分布式路由器整体;

(2)IP 分组的选路由地面终端执行,相当于分布式路由器的各端口处理部分;星上无需路由查找,只完成分组交换和流量控制等功能,相当于路由器的交换和中央处理器模块;

(3)NCC 收集各终端发来的外部网络可达信息,再根据卫星网络拓扑创建一个路由转发表,当生成路由转发表后将其发往卫星节点并广播至所有 ST, ST 通过 E - BGP 协议向所连接的地面网络发送卫星网路由信息以及通过卫星网可达的地面网络的路由信息;同时,NCC 动态维护一个地面终端与星上交换机端口的映射表,与路由表一块发送;

(4)终端执行路由查找,确定下一跳网络地址,如需经过卫星节点,则再查找端口映射表确定星上交换部分的输出转发端口;执行一个区分服务模型(Diffserv),将 IP 分组进行 QoS 分类;判定 IP 包是单播还是多播分组,将这些信息写入一个固定长度的信息头(格式如图 2 所示),并将其添加到 IP 分组的头部,然后发往卫星链路层组帧传输。

Sum(8bit)	M/B/U(2bit)	QoS(6bit)	Output(N × 8bit)
-----------	-------------	-----------	-------------------

图 2 添加的转发信息头格式
Fig.2 The format of the additional head of packet

图 2 中,Sum 域是信头校验和;M/B/U 域指明信元为单播(U)、多播(M)还是广播(B);QoS 域根据业务和 QoS 服务等级来具体定义;Output 域指代信元的星上输出端口,从低到高每位二进制比特分别对应从低到高的输出端口编号,其位数根据星上交换机的输出端口数来确定。

3 基于 IP 的传输网络

目前能提供 IP 服务的卫星系统有不少,如基于透明转发的 iPSTAR^[6]和基于再生处理的 WideBlue-1 等,但都不是基于 IP 包一级的路由转发。文献[7]提出了一种基于 ATM 的 IP 传输与路由结构,但需

设计复杂的地址转换。本文描述的卫星系统传输结构基于 IP 包的路由转发,全面支持端到端连接的 IP 服务。

一个典型的卫星 IP 分组传输过程如图 3 所示。

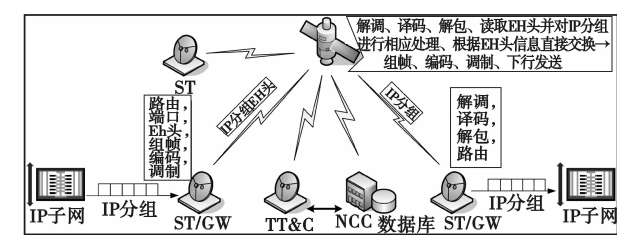


图 3 卫星 IP 分组传输的过程
Fig.3 The process of IP packet switching through satellite

其具体过程可描述如下:

(1)到达一个卫星终端或关口站的 IP 分组在本地进行路由选路,并确定星上交换机的转发端口;在 IP 分组的头部加上一个 Eh 信息头,其携带有 IP 分组的星上转发端口、QoS 服务以及单播/多播/广播表示的相关信息;然后进行链路层组帧、编码和调制发送。这就是 IP 分组进入卫星网的地面段处理,可将其抽象成一个分布式路由器的输入输出处理部分;

(2)星上接收信号后进行解调、译码和解包,提取出 IP 分组的添加信息头,读取信息并进行相关处理;将 IP 分组分割并封装成定长的内部交换信元,然后根据携带端口信息进行调度与转发;交换机输出端重组信元并送往相应下行信道。这是星上处理部分,可抽象为路由器的交换模块,而地面 NCC 就相当于路由器的路由控制模块。

基于 IP 协议的卫星网络,由于无需预先建立卫星链路连接,降低了初次访问的延时;同时,利用缓冲机制,能灵活管理单一信道的流量峰值。

4 路由结构

减少路由信息流量和卫星终端分区管理控制的能力是设计路由结构面临的主要问题。减少路由流量可通过在 NCC 设置一个中心路由服务器 (Central Routing Service, CRS) 进行集中路由来实现,避开网络格式路由带来的终端间大量路由信息交换。终端通过卫星发送的路由信息满足基本需求即可,这样通过 CRS 就能减少通过卫星的很大一部分路由信息流量。

关于路由策略,将卫星及其终端抽象为一个分布式路由器整体后,CRS 就相当于路由控制模块,ST 就是其分布式输入输出处理和路由引擎部分。在卫星网络内部,NCC 完成 ST 的注册和认证管理,并确定其所属分区和映射关系;在注册的同时,ST 向 CRS 发送其所连外部网络的路由信息,CRS 收集所有终端的路由信息后计算出路由表。

ST 的数量可很大,NCC 的网控模块需将所有 ST 编号并进行分区管理,将一个或相邻多个波束范围的 ST 划分为一个区,并与星上交换机的端口做多对一映射,给出映射表,与路由表一同上传至卫星并广播。映射表和路由表同步定时更新,当设定时间内收不到某一 ST 的更新,表明已断开连接,将其从路由表和映射表中删除。由于屏蔽了卫星网络的复杂结构,对外部网络而言路由变得简单了。

在终端与外部网络之间,支持多种路由协议,使得卫星系统有足够的灵活性来适应终端连接的不同网络域。图 4 所示为卫星网络的路由结构及典型路由协议连接。图 4 中,UT₁ 连接一个区域网络,可以是一个单一主机、子网、小型网络甚至是几个小型网络的联合体,它包含 CRS,故在 UT₁ 和 Area₁ 间运行开放最短路径优先协议 (OSPF)。UT₂ 连接 AS_m, CRS 作为其中一个边界路由器,在 UT₂ 和 AS_m 之间运行内部边界网关协议 (I-BGP)。UT_{m+1} 连接一个独立的自治域 AS_{m+1},在它们之间运行外部边界网关协议 (E-BGP) 以交换路由信息。类似地,信关站作为抽象路由器的端口部分,根据其连接网络性质运行相应的路由协议。

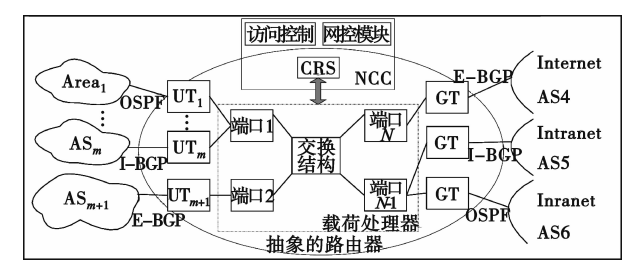


图 4 路由结构图及典型路由协议连接关系图
Fig.4 The routing architecture and the typical connectivity with different routing protocols

5 结 论

本文描述了一个基于 IP 的 GEO 卫星网络传输和路由结构,以实现与地面 IP 网络的无缝兼容。设

计考虑了足够的灵活性来支持大量的卫星终端(如 100 000个),星上具备交换的能力使得终端间可实现单跳通信。路由结构通过设置 CRS 的方式,避免了终端间的网格路由,能大幅度减少通过卫星的路由流量。星上不进行路由查找,对于星上资源的占用可以得到较大改善,有利于星上交换的实现;同时,通过 IP 包上行发送添加信息头的特殊设计,使得 IP 多播的实现不再困难。这种设计在获得其好处的同时,相对也限制了星上自适应路由的实现。拥塞与流量控制由地面 CRS 来实现,当星上某一信道很拥挤时,由于不能更改路径,对于拥塞的控制和反应增加了不利。对于卫星 IP 网络,其它像无线资源管理、IP - QoS 保证、TCP 传输时延和吞吐量等都是非常重要问题,目前国内外的研究也提出了一些对策,不过仍有待于进一步的研究和发展。

参考文献:

[1] Wood L Shell, Invancie D, et al. CLEO and VMOC: enabling warfighters to task space payloads[C]// Proceedings of IEEE Conference on Military Communications. Atlantic: IEEE;2005: 3052 - 3058.

[2] Conforto Paolo, Losquadro Giacinto, Winkler Roberto. End to End Telecommunication Satellite System with On - board IP Routing[C]//Proceedings of the 26th International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC). San Diego: AIAA, 2008:1120 - 1144.

[3] Pulliam, J Zambre, Y Karmarkar, et al. TSAT network architecture[C]// Proceedings of IEEE Conference on Military Communications. San Diego: IEEE,2008: 1 - 7.

[4] Whitefield D Gopal, Arnold R, et al. SpaceWay now and in the Future: On - Board IP Packet Switching Satellite Communication Network[C]// Proceedings of IEEE Conference on Military Communications . Washington DC: IEEE,2006: 1 - 7.

[5] Florio, Michael A Fisher, Susan J Mittal, et al. Internet Routing in Space Prospects and Challenges of the IRIS JCTD [C]// Proceedings of IEEE Conference on Military Communications. Orlando: IEEE,2007: 1 - 6.

[6] Swakpan T. The iPSTAR Broadband Satellite Project[C]// Proceedings of the 21st International Communications Satellite Systems Conference and Exhibit. Yokohama, Japan: AIAA, 2003:2003 - 2206.

[7] Yegenoglu, Alexander F, Gokhale R, et al. An IP Transport and Routing Architecture for Next-Generation Satellite Networks [J]. Network IEEE,2000, 14(5): 32 - 38.

作者简介:

范 继(1986 -),男,四川古蔺人,硕士研究生,主要研究方向为空间通信技术;

FAN Ji(male) was born in Gulin, Sichuan Province, in 1986. He is now a graduate student. His research direction is space communication techniques.

Email: fanji1208@163.com

王 宇(1973 -),男,陕西人,高级工程师、硕士生导师,主要研究方向为卫星调制与解调、空间通信技术。

WANG Yu(male) was born in Shaanxi Province, in 1973. He is now a senior engineer and also an instructor of graduate students. His research interests include satellite modulation and demodulation, space communication techniques.