

# 星上基带交换技术研究综述

赵尚弘, 李瑞欣, 魏伟, 钱渊, 庄绪春

(空军工程大学电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

**摘要** 星上交换是天基信息网络的关键技术之一。分析了国内外先进基于 ATM 技术的星上交换技术的设计思想, 汇总了星上交换设计的最新成果, 讨论了星上交换结构的设计、缓存管理、连接接纳控制算法等, 从几个方面挖掘了现代星上交换的设计思想。在总结星上 ATM 交换技术设计理念的基础之上, 提出了 ATM 星上交换的发展方向。

**关键词** 星上交换; ATM; 缓存管理; 连接接纳控制

**DOI** 10.3969/j.issn.1009-3516.2011.03.012

**中图分类号** TN927.2 **文献标识码** A **文章编号** 1009-3516(2011)03-0056-04

随着人们对传输业务要求的逐步提高和复杂化, 通信卫星不再是“透明”的转发数据, 而是具有信号处理和路由交换的功能, 如同一台架设在太空中的交换机, 可极大地增强卫星网络应用的灵活性, 为大量分散的中、小型业务地面终端提供廉价的传输业务, 并能适应不断出现的新的业务需求。星上交换已经成为卫星通信发展的重要方向<sup>[1]</sup>。

目前地面网络交换技术成熟, 吞吐量高。但是由于地面网络交换系统中交换开关调度算法复杂度高, 查表速率要求高, 缓存容量需求大, 以及空间环境和卫星有效载荷功耗、体积等因素限制, 在卫星网络中并不适宜采用地面网络交换技术<sup>[2]</sup>, 所以星上交换技术是目前重要的研究课题。

## 1 星上基带交换技术分类

星上交换按照交换控制方式可以分为 2 类: 星上电路交换和星上基带交换。星上电路交换是在射频、中频、解调前或后基带进行信道间的切换而不分析信号中信息的交换方式。其特点是: 不需要在信息流中携带通信协议, 交换结构都是无阻塞的, 实现比基带交换容易, 可靠性高, 费用较低。但缺乏灵活性, 每次建立链路都需要通过控制信道向中心站申请, 由于卫星信道时延大, 频繁切换信道时效率低。

星上基带交换是在星上进行信号解调基础上对基带进行信号分析, 在信号中加入交换信息, 通过星上交换处理单元转换信息完成信号的交换。其特点是: 减少了控制信息传输量; 与地面交换相比, 由于数据单跳传输, 减少了一半的传输量, 可以利用星上功率实现更多的星上处理功能; 传输时延减少了一半; 采用了各种网络技术, 实现流量控制、资源分配和业务接纳控制, 大大提高了卫星网络的利用效率。但是同时也增加了星上设计的复杂性。本文主要讨论星上基带交换技术。

## 2 星上 ATM 基带交换技术基本原理

ATM 交换是被大部分专家认为适合在卫星网络中采用的体制, 它是一种基于信元的、能够提供 QoS 控制和带宽保证的交换技术。ATM 网络的服务是基于面向连接的, 通过虚电路(VC)传输数据。

\* 收稿日期: 2010-10-12

基金项目: 国家“863”计划资助项目(2007AA01Z294)

作者简介: 赵尚弘(1964-), 男, 甘肃临洮人, 教授, 博士生导师, 主要从事天基信息系统和星上基带交换技术研究。

E-mail: zhaoshangh@yahoo.com.cn

星上 ATM 交换参考地面 ATM 技术;为卫星网络中的每个地球站都分配一个虚通道标识地址(VPI),则 ATM 交换网络实质上是一台 VP 交换机,地球站根据 VPI 标签为卫星进行 ATM 交换表的配置。ATM 技术能够满足多业务的快速分组,提供保证和实现用户资源的动态管理,而为满足卫星的要求,需要对其进行包括如接纳控制、业务整形、拥塞控制等业务管理操作。见图 1,天线接收到星际链路载波信号后,经过解调解码,获得 ATM 信元。然后,经过 ATM 交换开关发送到相应的目的端口。最后经过编码,调制后通过天线发射。

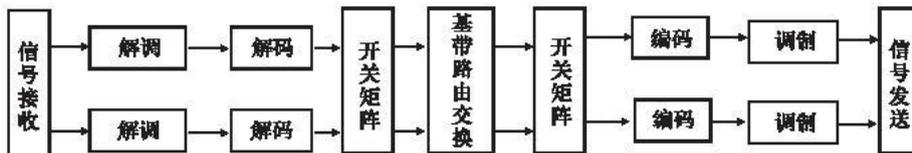


图1 星上 ATM 基本交换结构

Fig.1 On-board switching structure based ATM

星上 ATM 交换与地面 ATM 网络的不同主要体现在链路通信方面和网络资源调度策略方面。出于以上考虑,星上 ATM 交换系统进行设计时,须考虑交换机结构、差错控制、资源管理和拥塞控制等问题。

国内外的研究主要集中在几个方面:星上交换结构的设计、星上交换机的缓存管理策略、连接接纳控制算法的研究等。

### 3 基于 ATM 技术的星上基带交换技术及研究现状

#### 3.1 星上基带交换结构的设计

由于卫星通信具有带宽有限、时延受限、信道误码率高等特点,因而设计星上交换结构时必须尽可能降低交换时延,减少内部阻塞。

哈尔滨工业大学的肖丽萍提出一种基于蚂蚁算法的星上 ATM 交换结构<sup>[3]</sup>。该设计是在 Benes 网络中采用一种基于蚂蚁算法的具有阻塞规避特性的路由算法,它能够迅速探索并建立输入/输出端之间的最优路径,降低平均时延,同时能够预测交换单元的阻塞状态,快速探索新路径,将流量分散,达到减少内部阻塞的目的。仿真表明,该结构由于采用了蚂蚁算法和阻塞规避方案,有效改善了信元时延和信元丢失率等性能。仿真时所用的  $8 \times 8$  Benes 网络见图 2。

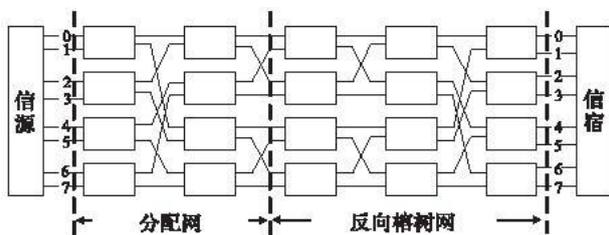


图2  $8 \times 8$  Benes 网络

Fig.2 The structure of a  $8 \times 8$  benes network

曾媛提出了低轨卫星交换机的一种基于内嵌 DRR (Deficit Round Robin, DRR) 算法的缓冲交叉开关型 (CICQ) 交换结构<sup>[4]</sup>。针对 DRR 算法时延性能较差的缺陷进行了改进,提出了一种延时性能好、复杂度低的内嵌 DRR 算法,通过 OPNET 仿真软件验证其时延性能大大提高。同时,针对低轨卫星系统特点及业务模型,在 CICQ 结构中应用内嵌 DRR 算法,在 OPNET 中建立星载交换机模型进行仿真,结果表明在一定业务流量和调度速度下,交换时延较低,所需缓存空间大大节省,无掉包,适用于卫星。

综上,由于星上缓存的有限性,为了减少缓存的使用量,可以借鉴 Lotfi Mhamdi 设计的部分缓存分组交换结构,从而既在性能上达到了要求,又减少了对缓存的依赖性,减少了对星上载荷的要求。

#### 3.2 星上基带交换机缓存管理策略

LV Rong 提出了跨层星上缓存管理策略 ECTD<sup>[5]</sup>,此方案通过丢弃部分卫星信道造成的误码信元来换取较好的 goodput 性能。但是 ECTD 保留了部分无效的 HLPDU,依然会对缓存造成一定的拥塞。为提高宽带卫星 ATM 通信系统的星上缓存资源的利用率,针对非实时数据业务,肖丽萍提出了一种跨层星上缓存管理策略——错误分组早丢弃 EPED (Erroneous Packet Early Drop, EPED)<sup>[6]</sup>。该策略把由信道引起的错误信元及其所属的同一协议数据单元的无效信元丢弃。通过仿真表明 EPED 具有优化缓存管理、提高星上交换机 Goodput 性能等作用,而且信元错误率和协议数据单元的长度越大,EPED 对 Goodput 性能的改善就越明显。但是此算法只是针对非实时数据业务,事实上现在卫星网络业务中实时业务与非实时业务量相似,故此算法

有些片面。

为改善星上交换系统的性能,张怡、周铨提出了一种输入缓存调度算法<sup>[7]</sup>。该算法基于 Crossbar 交换结构,采用了串行调度思想,在兼顾每个端口公平性的基础上调整了输出端口的仲裁策略,增加了端口匹配的概率。该算法大大减小了调度时延和丢失率。仿真结果表明:该算法在平均调度时延和信元丢失率等方面的性能指标均优于已有算法且实现复杂度不增加。宋莉提出了基于 DiffServ 的思想<sup>[8]</sup>,将(m,k)模型应用于地面业务到卫星业务的 QoS 映射,并通过双漏桶模型在业务增长时对星上数据进行有选择的控制,从而建立了一个实现复杂度低且可以有效保证综合业务 QoS 的星上交换框架。该设计方案在节省星上缓存资源的同时提高了系统性能,对业务的突发具有较好的平滑性。

### 3.3 连接接纳控制算法

对于卫星 ATM 交换系统的 CAC 算法来说,除了面临与地面 ATM 交换网络中同样的问题外,还要考虑在长延时的卫星信道中,如何更好地支持对时延要求很高的业务的问题。对此问题国内外开展了一些研究。

IERA A 对基于 ATM 技术的卫星网络 VBR 业务的接纳控制算法和资源管理问题进行了研究,提出了基于迭代原理的 I-CAC 算法<sup>[2]</sup>。熊辉波对接纳控制算法 T-CAC 算法可能存在超额概率和拥塞等问题提出了以二元开关型马尔可夫流模型为基础、将 R-CAC 算法、Bahadur Rao 理论以及 Weiss 理论进行结合的方法,对原有方法进行了改进,提高了可连接信源数<sup>[9]</sup>。Iera A, Molinaro A 提出了一种比较适合卫星 ATM 交换系统的 CAC 算法:快速缓存分配法(Fast Buffer Reservation, FBR)<sup>[10]</sup>。但该快速缓存分配法可能出现过高的信元丢失率。

针对 FBR 算法中的问题,黎军<sup>[11]</sup>提出了一种利用缓存器进行子波束再分配的改进方法,并采用流体流模型对改进后 CAC 算法进行了分析和仿真。结果表明,随着该改进方法所设置的缓存器容量的增加,信元丢失率明显下降。吕蓉等<sup>[12]</sup>提出了卫星 ATM 网络中结合 DA 协议的接纳控制算法。为充分利用卫星通信系统的链路资源,在链路资源按需分配(DA)协议的控制论模型基础上,研究了该协议对业务统计特性的影响,并且基于跨层设计的思路提出了一个结合媒介访问控制层 DA 协议的接纳控制算法。分析与仿真结果表明:该算法与不考虑 DA 协议的接纳算法相比,在一定的接纳门限范围内能够接纳更多的连接。该算法增加了网络的业务接纳率,提高了卫星链路资源的利用率。

## 4 总结与展望

本文对星上基带交换技术进行了综述,分析了该领域的研究现状;对基于 ATM 技术的星上交换结构的设计、连接接纳控制算法、星上缓存管理算法等关键技术进行了分析与评述。总的来说,不论从理论研究还是应用研究实证分析方面,国内对星上交换的研究都还处于起步阶段,很多还停留在对国外研究成果的介绍上,这就意味着许多问题还有非常大的空间有待我们进一步的深入探索。针对这种现状,今后一段时间国内研究应主要集中在以下几个方面:

1)及时跟踪星上交换理论研究的最新研究趋势和动向,特别是对具体研究内容最新的研究动向予以较为深入的关注。

2)进一步展开对星上交换技术的研究,包括交换结构、CAC、缓存管理、空间环境对交换技术的影响等,探索新的交换结构和算法,对空天信息网络特性进行更深入的认识。

3)在保密、解密技术日益受到重视的今天,如果能把星上交换技术和加解密技术相结合,将为我国卫星通信网络的安全性添加一道安全符,这是具有重要的实际意义。

### 参考文献:

- [1] 张中亚. 通信卫星星上信息交换技术[J]. 航天器工程,2003,12(1):6-11.  
ZHANG Zhongya. On-board switching technology of communication satellite [J]. Spacecraft engineering,2003,12(1):6-11. (in Chinese)
- [2] Iera A, Molinaro A, Marano S. Call admission control and resource management issues for real time VBR traffic in ATM-satellite networks[J]. IEEE JSAC,2000,18(11):2943-2947.
- [3] 肖丽萍,顾学迈. 基于蚂蚁算法的星上 ATM 交换结构[J]. 宇航学报,2007,28(4):932-935.

- XIAO Liping, GU Xuemai. An onboard ATM switching fabric based on ant algorithm[J]. Journal of astronautics, 2007, 28(4): 932 - 935. (in Chinese)
- [4] 曾媛, 龚文斌, 刘会杰, 等. 低轨卫星交换机的建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(6): 1518 - 1521.  
ZENG Yuan, GONG Wenbin, LIU Huijie, et al. LEO satellite on board switch model and simulation[J]. Journal of system simulation, 2009, 21(6): 1518 - 1521. (in Chinese)
- [5] LÜ Rong, CAO Zhigang. An utilization in proving scheme for on - board buffer in satellite ATM[C]//Joint conference of the 10th asia - pacific conference on communications and the 5th international symposium on multi - dimensional mobile communications proceedings. Beijing: [s. n. ], 2004: 198 - 202.
- [6] 肖丽萍, 顾学迈, 仲伟志. 宽带卫星 ATM 系统的跨层星上缓存管理策略[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(11): 3090 - 3092.  
XIAO Liping, GU Xuemai, ZHONG Weizhi. Cross - layer on - board buffer management strategy in broadband satellite ATM communication system[J]. Science technology and engineering, 2009, 9(11): 3090 - 3092. (in Chinese)
- [7] 张怡, 周铨, 黎军. 星上交换系统输入缓存调度算法[J]. 电子与信息学报, 2009, 31(6): 1429 - 1432.  
ZHANG Yi, ZHOU Quan, LI Jun. An input - buffer scheduling algorithm in satellite switching system[J]. Journal of electronics & information technology, 2009, 31(6): 1429 - 1432. (in Chinese)
- [8] 宋莉, 刘爱军, 马刘非. 基于 DiffServ 的星上交换设计与仿真[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(6): 1397 - 1402.  
SONG Li, LIU Aijun, MA Yifei. Design and simulation of diffServ - oriented on - board switch [J]. Journal of system simulation, 2008, 20(6): 1397 - 1402. (in Chinese)
- [9] 熊辉波. 基于 ATM 的星上交换系统设计与研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2007.  
XIONG Huibo. Design and research of on - board switching system based on ATM[D]. Xi' an: Northwest polytechnical university 2007. (in Chinese)
- [10] Iera A, Molinaro A. On the performance of CAC algorithms in multimedia geostationary satellite networks[J]. IEEE wireless communications and networking conference, 2002, 2(3): 837 - 843.
- [11] 黎军, 周铨. 卫星 ATM 交换系统中连接允许控制算法的改进[J]. 宇航学报, 2006, 27(3): 513 - 517.  
LI Jun, ZHOU Quan. Connection admission control in satellite ATM switching system: a new improved strategy[J]. Journal of astronautics, 2006, 27(3): 513 - 517. (in Chinese)
- [12] 吕蓉, 曹志刚. 卫星 ATM 网络中结合 DA 协议的接纳控制算法[J]. 清华大学学报: 自然科学版. 2005, 45(7): 943 - 946.  
LÜ Rong, CAO Zhigang. Combined admission control algorithm with DA protocol for satellite ATM networks[J]. Journal of tsinghua university: science and technology, 2005, 45(7): 943 - 946. (in Chinese)

(编辑: 田新华)

## Analysis of On - board Baseband Switching Technology

ZHAO Shang - hong, LI Rui - xin, WEI Wei, QIAN Yuan, ZHUANG Xu - chun

(Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

**Abstract:** On - board switching is one of the key technologies of spatial information network. The paper analyzes the designs of foreign and domestic researchers, summarizes the evolved researches including the design of switch fabric and CAC, cache management algorithms. Based on these studies, the on - board switching technology based on ATM development direction is presented.

**Key words:** on - board switching; ATM; cache management; CAC( Connection Admission Control)