

空间网络 拥塞控制与网络管理

Congestion Control and Network Management in Space Network

■ 姜月秋 著



國防工業出版社

National Defense Industry Press

空间网络拥塞控制与 网络管理

姜月秋 著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

随着通信技术和航天技术的飞速发展,空间网络的研究与应用重要性日益提高,空间网络的建设势在必行,空间数据系统咨询委员会(CCSDS)针对空间网络提出了空间网络通信协议规范(SCPS)。本书深入论述了SCPS,从空间网络拥塞控制与网络管理两方面进行了深入的研究:在空间网络拥塞控制方面,分析了TCP及其拥塞控制机制,设计了在确认机制上添加反向拥塞控制算法与基于链路带宽自适应估计的TCP拥塞控制算法;在空间网络管理方面,分析了空间网络管理体系与空间网络管理信息,在设计MNMP实体与网管功能的基础上,建立了仿真系统。

本书对于相关领域的高校教师、学生和工程技术人员等,具有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

空间网络拥塞控制与网络管理/姜月秋著. —北京:国防工业出版社, 2018.11

ISBN 978-7-118-11756-1

I. ①空… II. ①姜… III. ①计算机网络管理 IV. ①TP393.07

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第245667号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码 100048)

北京虎彩文化传播有限公司

新华书店经售

*

开本 880×1230 1/32 印张 5 字数 11千字

2018年11月第1版第1次印刷 印数 1—500册 定价 79.00元



(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

前 言

随着航天技术与信息技术的飞速发展和应用,空间网络在政治、经济和军事等领域的战略地位日益提高,空间网络的建设势在必行。空间网络是在不同轨道上多种类型的卫星系统、空间站等,按照空间信息资源的最大有效利用原则,互连互通,有机构成的智能化体系,同时又与陆、海、空共同构成天地一体化网络系统。由于空间网络具有误码率高、正反向带宽不对称、往返时延长、网络结构动态变化等特征,造成空间网络的拥塞控制和网络管理技术与地面网络区别较大,地面网络比较成熟的拥塞控制与网络管理技术在空间网络中并不适用,因此,对空间网络的拥塞控制与网络管理进行研究具有重要的理论意义和应用价值。

拥塞控制是保证通信网络稳定性和健壮性的关键技术。任何通信网络的体系结构,其核心技术必然需要对流量进行管理控制,如发送端控制、拥塞控制和队列管理等,而网络数据通信核心和基本的技术仍是拥塞控制,良好的通信网络必须能够避免发生严重拥塞或在发生拥塞后能够快速恢复网络正常通信。如果网络发生拥塞,发送端就可以降低数据发送速率,使网络快速脱离拥塞状态;如果大幅度降低发送窗口,就会使发送窗口恢复变慢,浪费网络带宽。所以应该采取既能解决网络拥塞又能快速提高发送速率的拥塞控制方法,使发送窗口一直保持较高的数据发送速率,从而提高网络带宽利用率。

空间网络管理技术是实现空间网络高效、自主运行和安全传输信息的关键技术,通过研究以 SNMP、CMIP、TMN 为代表的传统网络管理,以 CORBA 为主流技术的分布式网络管理,以移动代理技术的动态网络管理,可以看出,现有网络管理技术均存在应用于空间网络进行网络管理的非适应性。空间网络具有的运行特性为网络管理技术带来了新的问题,使网络管理技术面临新的挑战。例如,随着微小卫星技术的发展,

卫星网络的规模可能急剧扩大,而目前广泛应用的 SNMP 管理都是集中式体系和轮询机制的,将不适用于大规模的网络管理;而 CMIP 过于复杂,只适用于高处理能力的设备,星上用于网络管理的资源是有限的;TMN 是基于 CMIP 的,但在体系上是与电信网分离的,它通过通信协议和信息模型的标准接口与电信网相互传输管理信息,达到操作并控制电信网的目的,这种方式本身就与网络管理的发展趋势相矛盾;CORBA 适应性不理想的原因是过于庞大和复杂,利用 ORB 来通信有可能产生额外的开销,从而导致卫星带宽和其他通信设备的资源不足,而且 CORBA 是在通信网络的较高层次,在高网络层次中可使开发的复杂度降低,但会造成软件效率下降。因此,现存的解决方案都是不适合的,迫切需要展开对空间网络管理的研究。

本书针对空间网络在拥塞控制与网络管理方面的特征开展了深入的研究,包括模型、算法和系统仿真的理论和技术。主要内容安排如下:

第 1 章绪论,简要说明卫星网络拥塞控制与网络管理的研究现状,就空间网络的拥塞控制与网络管理的必要性做了相关阐述,针对空间网络的运行特性进行了详细的分析,这也正是对空间网络进行拥塞控制与网络管理的难点所在,通过对现有的拥塞控制与网络管理技术的分析,认为它们均具有应用于空间网络管理的非适应性。

第 2 章 TCP 及其拥塞控制机制。首先介绍传统 TCP 通信协议的通信方式与数据分组的结构;然后介绍目前流行的 TCP 拥塞控制算法,传统 TCP 在空间信息网络的不适应性,通信效率不高,并分析产生问题的原因;最后针对空间信息网络的特点,提出了一种新的拥塞控制机制。

第 3 章在确认机制上添加反向拥塞控制算法,提出了一种拥塞控制算法,在空间网络反向链路确认机制 SNACK 选项上添加 TCP Westwood 拥塞控制算法,与正向链路的拥塞控制区分开。重点介绍了在数据发送端和接收端时钟阈值的取值和设定,并进行数据传输,通过对反向链路拥塞状态的判断及预测,在确认机制上加入拥塞控制的思想。在反向链路端使用 TCPW-ISN 算法,对卫星反链路状态进行较准确的拥塞控制,并在 OPNET 软件中进行仿真和性能测试,模拟卫星网络环境并建立不同的仿真模型,对链路吞吐量、拥塞窗口大小和带宽利用率等指标进行比较和验证。

第4章基于链路带宽自适应估计的TCP拥塞控制算法,通过对现有的TCP Reno拥塞控制算法进行改进,提出了一种基于链路带宽自适应估计的TCP拥塞控制算法,该算法减小了反向链路数据包丢失率对吞吐量的影响,并提高了协议的实时性。利用NS-2进行算法的性能仿真分析,通过与传统TCP拥塞控制算法进行分析比较,该拥塞控制算法能够大大降低不同信道速率和不同时延对TCP性能的影响,提高TCP在空间信息网络的链路吞吐量。

第5章空间网络管理体系,在基于对空间网络管理特性分析的基础上,根据CCSDS对空间组网的建议,对空间网络管理体系的管理模型、信息模型、组织模型和通信模型进行研究。

第6章空间网络管理信息,对面向对象的管理信息描述方式进行了研究,实现网络管理信息以统一的数据格式与地面系统共享信息资源,包括管理对象的命名和组织机制、MNMP的管理对象定义规范DMMO的定义等。

第7章MNMP实体与网络管理仿真系统的设计和实现,从管理站进程、代理进程、转换网关等方面对MNMP实体进行了设计和实现,并通过性能测试与健康函数的计算和SNMP做了对比,证明了MNMP设计的有效性;在此基础上,开发了基于MNMP的空间网络管理演示验证系统,它初步实现了资源管理、性能管理、配置管理、故障管理、任务管理和安全管理的功能,验证了协议应用的可行性。

本书由沈阳理工大学姜月秋撰写。本书的出版得到了东北大学王光兴老师团队与沈阳理工大学潘成胜老师团队的大力支持和帮助,得到了国家自然科学基金(No.61501307)以及沈阳市中青年科技创新人才支持计划项目(2017)资助,在此表示感谢。

作者

2018年10月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 空间网络拥塞控制研究现状	1
1.2 空间网络管理研究现状	6
1.3 本章小结	10
第 2 章 TCP 及其拥塞控制机制	11
2.1 传统 TCP 的工作原理	11
2.2 典型 TCP 拥塞控制算法分析	20
2.3 卫星网络环境下 TCP 的挑战	27
2.4 本章小结	33
第 3 章 在确认机制上添加反向拥塞控制算法	35
3.1 TCPV-ISN 算法的提出	35
3.2 TCPW-ISN 算法的设计思想	36
3.3 卫星网络反向拥塞控制仿真	45
3.4 本章小结	52
第 4 章 基于链路带宽自适应估计的 TCP 拥塞控制算法	53
4.1 卫星网络环境下 TCP 拥塞控制算法改进思想	53
4.2 基于链路带宽自适应估计 TCP 拥塞控制算法的实现	55
4.3 基于链路带宽自适应估计的 TCP 拥塞控制算法性能分析	58
4.4 本章小结	64
第 5 章 空间网络管理体系	66
5.1 CCSDS 建议	66
5.2 网络管理的特征	67
5.3 网络管理体系结构	68
5.4 本章小结	82

第 6 章 空间网络管理信息	84
6.1 MNMP 的衍生规范 DMMO	84
6.2 管理信息的命名与组织机制	89
6.3 管理对象	91
6.4 本章小结	94
第 7 章 MNMP 实体与网络管理仿真系统的设计和实现	95
7.1 MNMP 实体的组成	95
7.2 代理进程设计与实现	96
7.3 管理站进程	108
7.4 转换网关的实现	118
7.5 协议的实际性能测试	122
7.6 网络管理演示验证系统	131
7.7 本章小结	145
参考文献	146

第1章 绪 论

1.1 空间网络拥塞控制研究现状

1.1.1 空间网络传输控制协议的研究现状

空间网络具有传播时延长、误码率高、带宽不对称等特点,因此如果采用传统的 TCP 协议进行传输控制,则会导致网络的分组转发率、数据吞吐量和带宽利用率等重要性能指标的下降。

针对卫星网络,提出了一类将端到端的 TCP 连接分割为多段连接,并进行优化处理的方案,这些方案采用拆分连接的概念来解决端到端系统之间的性能不匹配问题,同时采用了局部应答方式以加速高带宽时延积 (Bandwidth-Delay Product, BDP) 环境中的慢启动过程,并触发更快速的局部差错恢复。提出了 TCP Peach 协议,该协议每隔固定时间间隔发送 $rwnd-1$ 个数据分组,如果发生数据丢失,立即进入快速恢复阶段,运行快速重传算法重传丢失的数据,接收到返回的 ACK 后,再经过一个 RTT 时间才进入拥塞避免阶段,这种处理方式提高了拥塞窗口的增长速度,加速了慢启动的完成。提出了一种 TP-Planet 协议,首先该协议获得数据链路的可用资源,并根据可用资源的大小来调整数据发送端的发送速率,使数据发送速率达到链路可用带宽,而不引起通信链路的拥塞;同时,该方案为了减轻链路突发性变化对网络吞吐量造成影响,使用了中断处理程序。提出了一种针对多跳卫星网络 TCP 协议公平性和效能问题进行优化处理的 REFWA 协议,该协议调整所有活动的 TCP 数据流的发送窗口尺寸,使其等于通信网络中的 BDP 大小,通信链路吞吐量得到提高,并且该协议对每个 TCP 数据流都进行应答,实现了公平性目标。Henderson 等人提出了 STP,在 STP 中,发送端没有设置重传计时器部

件, 发送端检测接收端发送的 SNACK 应答信息, 重传接收端要求发送的数据分组, 为卫星通信链路提供面向可靠的向字节流的数据传输服务。提出了 XSTP, 在 XSTP 中采用了端到端的探测机制, 如果网络发生拥塞, 则它能够准确判定当前网络发生错误的类型, 并依据不同的错误类型采取相应的解决措施 (继续发送下一个数据分组或重传前面丢失的数据分组) 使网络运行状况变好。

SCPS-TP 研发方面也取得了大量的研究成果, 20 世纪末, 采用 SCPS-TP 开发的商用系统开始出现, 如 MITRE 公司 1999 年对 SCPS-TP 进行了实现, 可以作为单独的协议栈或者传输层网关在 SUN 系统或各种 Linux 系统平台上使用。2000 年, 美国环球科技公司在 SCPS 协议栈基础上开发了 Skip Ware 商用软件, 并在 TurboIP 平台上成功应用, 在基于 SCPS-TP 的 TurboIP 对网络配置参数和卫星网络拓扑结构没有影响的条件下, 能够提高在卫星链路上的 TCP 传输速度, 进而提高网络的吞吐量, 并为用户提供面向连接的、可靠的端到端通信服务。随后, 在 SCPS-TP 的基础上, 提出了一种新的框架 COTS, 该框架在很大程度上减轻了空间信息网络中由大时延和高误码率引起的链路带宽利用率下降的问题。2004 年, 加拿大 Xiphos 公司推出了基于 SCPS-TP 的 XipLink 系统, 这个新的系统支持数据速率控制快速启动、报头压缩、快速重传和预先数据压缩功能, 同时采集信息预取技术提高了 HTTP 的速度, 从而提高了网页浏览、响应和下载速度。为了满足空间信息网络应用需求, Xiphos 推出一种支持 SCPS-TP 的小型嵌入式网关。LTI 公司 2004 年也推出了基于 SCPS-TP 的产品 3000S、3000E 等, 在 2005 年美国第十一届军事演习中使用了上述产品。

1.1.2 SCPS-TP 拥塞控制机制的研究现状

目前, 在现有的 SCPS-TP 中, 一般采用 Vegas 算法作为拥塞控制机制。在该算法中, 设置了阈值 α 和 β (通常 $\alpha=1$, $\beta=3$), 用来反映卫星通信网络链路的拥塞情况, 其意义为处于链路中间节点缓存分组的最小值和最大值; 计算期望传输速率为

$$\text{Expected} = \text{Cwnd}(t) / \text{baseRTT}$$

实际传输速率为

$$\text{Actual} = \text{Cwnd}(t) / \text{RTT}$$

上述公式中 baseRTT 为最小的往返时延, 如果网络通信链路状态发生变化, 需要重新进行计算; $\text{Cwnd}(t)$ 为 t 时刻的拥塞窗口大小; RTT 为链路当前实际往返时延; 通过以上结果计算出

$$\Delta = (\text{Expected} - \text{Actual}) \times \text{baseRTT}$$

按照下式调整拥塞窗口大小, 达到控制通信网络设备中缓存数据分组的数量, 使通信链路获得理想的传输性能:

$$\text{Cwnd} = \begin{cases} \text{Cwnd} + 1, & \Delta < \alpha \\ \text{Cwnd}, & \alpha \leq \Delta \leq \beta \\ \text{Cwnd} - 1, & \Delta > \beta \end{cases} \quad (1-1)$$

式(1-1)中, 拥塞窗口大小由 α 、 β 和 Δ 的值决定, 而 Δ 值又与 baseRTT 和 RTT 的测算值相关, 因此, 通信链路的拥塞控制效果由 baseRTT 和 RTT 的计算及 α 、 β 的取值决定。

目前, 关于 baseRTT 和 RTT 的计算方面取得了一定进展。 RTT 取值大小与传输数据分组有关, 提出了一种动态地将不同数据分组的长度划分为多个不同集合, 并基于数组分组长度来计算 RTT 的方法, 计算每一个集合内部所有数据分组的 RTT 的平均值, 然后认为集合中所有数据分组的值都为此 RTT 值, 能够减轻数据分组长度对 RTT 测量值准确度的影响, 但在理论上没有给出划分集合的方法。提出一种相对队列传输时延概念, 该思想为连续接收相邻的两个数据分组的 ACK 时间延迟与它们的发送时间延迟之差, 并指出了相对时延变化如何影响 RTT 测算值的准确度。去除了由反向链路传输时延变化所引发的 RTT 变化, 同时利用 RTT 和 Cwnd 之间成正比的线性关系, 从 RTT 中消除暂时性排队时延增量, 从而提高了 RTT 的测算精度; 但该算法没有考虑在通信链路发生切换时, 链路缓存大小的变化会引起相对队列时延变化这一问题, 导致在链路切换时 RTT 的测算精度不高。为了提高 RTT 测算的准确性, 要综合考虑最大排队延迟差值、最近排队延迟变化量和目前排队延迟变化量的影响并结合 RTT 的历史变化, 但是由于该算法需要保存 RTT 的历史信息, 因此对发送端的缓存要求较高, 同时也

增加了计算复杂度。通信链路是否发生切换可以利用 RTT 值的变化和时延的增加两者之间的关系进行判断,从而决定 baseRTT 是否需要重新设置,用来克服传统 Vegas 算法在进行通信链路切换后吞吐量出现下降的问题。在链路进行切换时,除了考虑以上两者关系外,为了使判断结果能够更加准确,还额外增加了对窗口增长量的考虑,使 baseRTT 值设置的准确度提高。巧妙地利用了空间通信实体物理距离的变化来估算并修正 baseRTT 值,在通信实体靠近时,减小 baseRTT 值,而在通信实体远离时,增加 baseRTT 值。

目前在 α 和 β 的设置上取得了一些进展。如 Vegas-A 算法中,数据发送端对链路实际吞吐量的变化能够进行判断,通过判断结果对链路状态进行细分,根据链路不同状态对拥塞窗口进行调整,对 α 和 β 的取值也要进行动态调整,保证链路状态的正确性。在 Vegas-A 算法的基础上,考虑到 α 和 β 的取值对拥塞窗口调整策略的影响,为了提高拥塞窗口的调整速率,把 α 和 β 的取值调整与拥塞窗口的调整结合起来。对 TCP Vegas-A 进行了部分调整,在该算法中加入了相对队列时延变化的分析,并对链路状态进一步划分,根据链路的状态给出对应的拥塞窗口调整策略,提高拥塞窗口的调整效率。提出了 TCP NewVegas 算法,该算法通过相邻两次 RTT 变化对比结合自身窗口的变化,根据判断得到的链路带宽占有率的变化趋势调整 α 和 β 的取值来适应链路状态的实时变化。对 TCP NewVegas 进行了改进,在数据分组丢失时将 α 和 β 乘以小于 1 的系数,以加快窗口下降速度,从而解决了 TCP NewVegas 机制在数据分组丢失时 Cwnd 下降过慢的问题;同时在 α 和 β 之外增加了窗口快速变化阈值 α_c 和谨慎变化阈值 β_c ,以便将网络状态进一步细分,使 Cwnd 的调整更具针对性。引入了 Cwnd 持续增长次数的概念,更好地动态调整 Cwnd 的增长幅度以及 α 和 β 的取值,从而解决了慢启动过早结束的问题,提高了吞吐量。在 Vegas-A 基础上提出了 Vegas-A+算法,该算法在 $\Delta > \beta$ 时采用两种处理方法:当吞吐量还有增长的趋势时,增大 Cwnd、 α 和 β 的值;反之,则不对 Cwnd、 α 和 β 的值进行调整。该算法比 Vegas-A 算法具有更高的带宽利用率。

上述算法采用不同的策略对 α 、 β 和 RTT 值进行设置,从而改进 Vegas 算法的性能,取得了显著的拥塞控制效果;但是该算法必须对 RTT 值进

行预测并对链路状态进行判断,然而空间通信网络链路传输时延较大,使 RTT 测算值不够准确,从而限制了拥塞控制算法的控制效果。因此,有必要研究通过其他方法更加准确地获取空间通信链路,设计更好的拥塞控制策略,以提高空间通信链路的拥塞控制效果。

1.1.3 SNACK 确认机制的研究现状

选择性否定确认机制,接收端发送未正确到达的数据分组,把 ACK 的多数据分组丢失的信息发送回发送端,该方法不增加 ACK 数量,减小反向链路负载,提高数据分组重发速度。在 SNACK 研究方面取得了一定成果。如果发现数据分组丢失是由误比特率引起的,可以在确认分组中加入 SNACK 选项,但数据分组丢失是由网络拥塞引起的,使用 SNACK 选项的重传会使网络拥塞加重。张雨彤分析了 SNACK 确认机制中 ACK 发送频率与带宽利用率的关系,并指出了当 ACK 发送频率过大或过小时,都会导致链路带宽利用率下降,然而她并没有给出合理设置 ACK 发送频率的方法。针对低地球轨道 (LowEarth Orbit, LEO) 卫星通信网络,提出了一种基于时钟时延的 SNACK 确认机制,该算法在没有数据分组丢失和数据链路未发生拥塞时,依然使用累积确认机制进行数据包的确认。如果数据分组丢失是由于误码率引起的,则使用时延发送含有 SNACK 选项的确认分组,设置 ACK 发送时间间隔最大为 50ms,该机制能够保证在数据分组不发生丢失时,正向链路带宽利用率得到充分利用,并且在一定程度上减少反向链路的拥塞情况。但是,由于空间信息网络链路带宽不对称的特点,反向链路采用累积确认机制时反向链路极易发生拥塞,并且采用在固定时间间隔发送 SNACK 确认数据分组,无法适应通信链路的动态特性,因此对链路带宽利用率提高程度是有限的。根据在链路中没有分组丢失时,SNACK 选项不会发生变化的这一特点,指出了接收端在这种情况下不必发送带有 SNACK 选项的确认分组,以减小反向链路的确认分组流量,从而降低反向链路发生拥塞的概率。王金苗提出一种基于时钟时延和窗口检测的 SNACK 确认机制,根据数据链路分组丢包率,以乘性增、乘性减的方式动态地调整数据乱序检测窗口,只有接收数据量达到检测窗口的阈值时,接收端才

检测数据是否乱序。如果检测出数据乱序,则在 ACK 中形成 SNACK 选项并立即发送给数据发送端。这种方法减小了反向链路中确认分组的数量,尤其避免了突发数据流中数据分组丢失时会发送大量重复 ACK 的现象,进而消除了大量重传同一数据分组的问题,在一定程度上提高了正向链路的带宽利用率;同时,该方法基于 RTT 和链路分组丢失情况动态地设置确认分组发送的延迟时钟阈值,保证了在数据分组正常接收时 Cwnd 能够快速增长;然而由于该算法在拥塞频繁发生的空间链路中,没有考虑到由正向链路拥塞导致的分组丢失对链路分组丢失率计算的影响,因此难以合理地设置 ACK 的发送频率,从而在正向链路发生拥塞时很难充分地利用正向链路的带宽。

1.2 空间网络管理研究现状

随着信息技术、通信技术的不断进步,空间信息网络通信技术也得到了飞速发展,当前世界各国对空间的重视程度可以与工业革命时期对电和石油重视程度相提并论,人们生活中的信息 80% 与空间信息相关,对空间信息网络的应用与通信技术的研究成为科研领域的热点问题。航天技术的飞速发展也提高了空间信息网络的战略地位,空间信息相关技术的发展水平成为辨别国家是否强大的关键方面。目前,许多军事强国开始对空间网络技术进行研究,以多种不同类型的卫星组网形成的空间技术网络能够帮助获得军事信息优势和决策优势。我国也非常重视空间信息网络研究,我国是世界上第 5 个掌握了卫星制造与火箭发射技术的国家,从 1970 年第一颗人造卫星“东方红”成功发射至今,已经完成 50 多颗人造卫星的发射任务,形成“实践”“尖兵”“北斗”“东方红”“风云”等多种不同的卫星系列;同时掌握了一箭多星的发射技术,以及载人飞船技术和卫星回收技术,成功发射了高、中、低所有轨道卫星,并能够小批量生产,形成了高水平、多功能的应用卫星生产与研究体系。我国仅在“十五”期间,就研制和发射了包括导航、通信、海洋、资源、气象等 10 多类 20 多颗卫星,同时也启动了探月工程。以上在航天领域取得的成果表明,我国已成为世界级航天大国,为空间信息网络的研究

提供了良好的理论与应用基础。考虑当前我国航天技术发展所面对的问题，为了更好地维护国家主权、加速国家经济快速发展和提高国家空间信息技术水平，提出了建立空间信息网络的规划。空间信息网络是由不同轨道上多种类型的卫星互通互联，使空间信息资源有效利用达到最大的智能化体系，该网络包含军、民两用的信息管理系统，能够自主的进行信息获取、处理、分发及存储能力，连接海、陆、空中的信息系统，所以，空间信息网络将会成为国家信息高速公路组成部分之一。

空间信息网络是一个宏大的工程，无论是网络规模，还是网络管理技术的难度都是以前系统不能相比的，因此，如何保证网络的正常运行，如何控制、调整网络是空间信息网络必须解决的问题，尤其是无人值守完成自主运行的空间信息网络，其具有的网元节点和通信特点，在空间信息网络管理方面提出了新问题，成为网络管理技术的难点。目前，各国对卫星网络的管理处于航天测控阶段，由地面工作站完成数据处理功能，少数航天大国可以对卫星组网管理，已达到星座规模大小，如全球定位系统（GPS）、全球星系统、铱星系统等。我国的卫星系统还没有形成星座规模，北斗系统已经具有星座初期规模，基本都是烟囱式的单星管理模式，不能实现空间信息的共享和联网。各个航天系统的独立应用，每个用户只能使用同一服务，使用其他系统的服务比较复杂或根本不能使用。在不远的将来，随着应用需求的增加，综合性的应用是必不可少的，如同时应用天气与定位等多种信息，现在的单星管理模式不能满足将来的需求，综合管理多个卫星网络应用的管理技术是航天技术发展的需要。

我国已经提出了建设“空间网络”的发展目标，包括进行空间网络管理的研究内容，即针对独具的网络特性，通过对其通信协议、网络管理体系、管理功能领域等关键技术进行研究，建立一个新的空间信息网络管理系统，使其在体系上为了适应网络的规模具有良好的可扩展性、伸缩性和灵活性；在功能上为了适应网络移动特性和综合利用，提高其实时性、协同性以及有效性；同时作为完成管理信息传输任务的管理协议应该对网络传输固有的长延迟、链路暂时性、节点移动性以及与现有网络的兼容性等方面提供高效的支持，从而达到空间信息网络的自主运行和安全可靠通信。

网络管理是空间网络的神经中枢,是网络正常运行的前提保证,因此需要先进实用的技术支持,同时需要合理、有效的组织体系。然而,空间网络独有的网络特性却向实现有效的网络管理、保证网络可靠运行提出了挑战,主要特点如下:

(1) 规模庞大,结构复杂。空间信息网络是一个天地一体化系统,它由陆基、海基、空基三部分组成,其中包括不同轨道的各种类型的卫星网络系统,而不是功能单一的卫星网络系统,对卫星所在的轨道、卫星状态、网络设备、地面网络管理等进行运程管理和控制,从而保证了空间信息网络的正常运行。

(2) 网元类型多样、功能不同。在空间信息网络中,卫星节点(主体网元)在承担信息的传输、获取、处理、分发和储存等任务,执行侦察监视、预警、环境与灾害监测、导航定位、空间防御与对抗、通信广播等职责,既可以由简单传感器系统组成,也可以由能够做复杂的处理和计算的星载计算机系统组成。

尽管功能复杂的管理任务仅仅通过地面系统的控制和管理就能够完成,但由于地面至卫星的通信具有长延迟和自主运行的特点,只有卫星能实现部分或全部的管理功能,才能使卫星管理更加智能、高效和灵活;然而卫星节点类型和能力都有很大差异,如何综合考虑卫星节点的运行方式、功能、类型等特点,完成管理任务和角色的分配,成为空间信息网络管理需面对的问题。

(3) 网络数据通信延迟大。空间信息网络主要由星际、星地链路组成,星间、星地通信距离较长,使数据在链路中的传输时延较大。由于网络固有的传输延迟大的特点,因此在应用网络管理协议以及实现一些具有实时性的网络管理功能时,必须考虑这个因素。通常情况下,网络管理功能的实现基于管理者对被管对象的数据采集和处理,而采集的数据量大小和方式,以及数据处理时间和方式等必须考虑信息传输的长延迟特性。

(4) 空间通信传输数据误码率比较大。在空间信息网络中,由于传输数据的链路是通过电信号在空间传输,导致通信除了受本身通信方式的限制外,还受空间环境、地面环境和人为因素的干扰,其结果直接引起链路的通信性能降低、误码率升高,甚至引起中断,因此网络管理必

须具有对链路质量的可适应性。

空间链路除受自身通信的自由空间传播损耗和多径衰落、天线接收损耗影响外,还受大气中冰晶降雨层、大气损耗,电离层中闪烁、法拉第旋转、传播时延、色散和频移的影响,以及由于太阳活动引发的太阳超常电磁辐射、太阳耀斑辐射、太阳超常粒子辐射、日凌干扰和星蚀(日蚀)的影响;人为影响因素有电子干扰、低能定向能武器攻击、“黑客”攻击等;其他影响因素有空间碎片、粒子辐射、宇宙噪声、天线跟踪误差以及多普勒频移和无线电噪声等。

事实上,卫星通信质量受空间环境的影响因素有时与信号自身频率有关,地星通信频率一般为 150MHz~300GHz,考虑现在常用的通信技术,主要选择 1~10GHz 的频率最佳,Ku 频段和 C 频段最常用;星间通信由于没有受到大气层的干扰,可选通信频率的范围较大,推荐使用 Ka/EHF 频段,这些高频段通常可用带宽较大、天线增益较高,而且该频段电波受大气的吸收衰减较大,从而减小地面无线与星际系统之间无线信息相互干扰,无线电规则中为星际链路分配的频率一般间断地分布在 22~190GHz 范围内,除使用无线电的频率外,还能够通过激光进行星际链路的信息通信。

总的来说,星地链路通信的影响主要因素有地球大气、多普勒频移、自由空间传播损耗、太阳活动、多径衰落、电离层、天线接收、冰晶降雨层、空间武器的攻击等。星际链路主要受自由空间传播损耗、星际间最大通信距离、天线接收、宇宙噪声、空间碎片、粒子辐射、太阳活动、空间武器攻击等因素的影响。

(5) 动态变化的网络拓扑结构。地面网络与空间网络的主要区别是网络节点是否移动。组成网络的核心节点——卫星及星座由于其轨道运行的周期性特性,势必导致网络具有周期性的拓扑结构的改变;同时还存在着新节点的动态入网、网络中卫星节点出现故障或动态退出,在网络拓扑图上将出现卫星节点的加入或删除等动态特性;另外,由于环境原因导致通信链路质量降低,通信容易中断,节点相对移动还能引起通信链路拆除或重建,导致网络拓扑关系发生变化。虽然传统的网络管理技术中也存在拓扑变化的情况,如新设备的增加或者拆除,通信设备故障,但是与卫星通信网络相比,其动态性程度不足。