



WEIXING WANGLUO

LUBANG LUYOU SUANFA JI TCP XIEYI

卫星网络 鲁棒路由算法及TCP协议



赵志刚 刘 杰 拱长青◎著



北京师范大学出版集团

BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP

北京师范大学出版社

辽宁省教育厅高校学术专著出版基金资助



WELIXING WANGJIE LUO
LUBANG LUYOU SUANFA JI TCP XIEYI

卫星网络 鲁棒路由算法及TCP协议

中国图书馆分类号: TP393.07
中图分类号: TP393.07

赵志刚 刘 杰 拱长青◎著



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

卫星网络鲁棒路由算法及TCP协议/赵志刚,刘杰,拱长青著. —北京:北京师范大学出版社, 2012.6
ISBN 978-7-303-13984-2

I. ①卫… II. ①赵…②刘…③拱… III. ①卫星通信—通信网—鲁棒控制—路由选择 ②卫星通信—通信网—通信协议 IV. ①TN927

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第017446号

营销中心电话 010-58802181 58805532
北师大出版社高等教育分社网 <http://gaojiao.bnup.com.cn>
电子信箱 beishida168@126.com

出版发行:北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn
北京新街口外大街19号
邮政编码:100875

印 刷:北京京师印务有限公司
经 销:全国新华书店
开 本:170 mm × 230 mm
印 张:17
字 数:305千字
版 次:2012年6月第1版
印 次:2012年6月第1次印刷
定 价:30.00元

策划编辑:胡 宇 责任编辑:岳昌庆 胡 宇
美术编辑:毛 佳 装帧设计:李尘工作室
责任校对:李 茵 责任印制:李 啸

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话:010-58800697

北京读者服务部电话:010-58808104

外埠邮购电话:010-58808083

本书如有印装质量问题,请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话:010-58800825

前言

随着社会的发展，人们对通信的需求日益迫切，对通信的要求也越来越高。理想的目标是在任何时候、任何地方、与任何人都能及时地沟通、联系和交流信息。显然，如果没有移动通信，就没有无线通信网络，这种愿望是无法实现的。近年来，作为一种无线通信手段，卫星通信获得了长足的进步。卫星通信是现代通信技术与航天技术相结合，并由计算机实现其控制的先进通信方式。它利用人造地球卫星作为中继站转发无线电波，在两个或多个地球站之间进行相互通信。卫星通信具有覆盖区域广，传输距离远，频带宽、容量大，线路稳定、质量好，网络组建快、机动灵活，可以以广播的方式工作，便于实现多址连接、通信成本与通信距离无关等诸多优点。自1946年英国空军雷达军官阿瑟·克拉克在无线电世界杂志上发表《地球外的中继站》一文中，首次提出利用卫星建立全球通信的科学设想以来，卫星通信已经取得了惊人的发展。在目前的卫星通信网络中，LEO、MEO和混合式轨道卫星通信系统已经开始广泛应用于全球电信网，以满足宽带和移动用户的各种需求。同时，因为星际链路(ISL)具有带宽、通信质量、可靠性、远距离传输时延等许多方面的优势，通过ISL使卫星在太空组网被认为是LEO/MEO卫星网络组网的发展方向。

与静止卫星相比，LEO和MEO卫星在地球站和地球站之间提供一个非常小的往返延迟。越靠近低轨道，越多的卫星被用于在全球范围内运行的系统。因此，我们面临着卫星网络的大规模出现。由于整个卫星网络系统自身不断的移动性，系统运行也面临着许多新的挑战。因为LEO具有相对地面高速运行

和其网络拓扑结构快速动态变化等特点, 所以路由问题一直是 LEO 卫星网络研究的重点, LEO 卫星网络的一大挑战就是提出详细有效的路由算法. 本书针对 LEO 卫星网络路由算法的鲁棒性进行了研究.

近几年, 提出的许多路由算法都是假设卫星网络是面向连接的网络结构, 也就是进行 ATM 或类似 ATM 的交换. 这些路由算法是离线(offline)计算好在每一个 Δt 时间内某颗卫星到其他每一颗卫星的一条最佳路由. 基于 ATM 的路由算法具有它的优点, 但是这些路由算法把重点放在初始路径的建立阶段, 并且在适应性和鲁棒性上也要明显低于基于数据报(datagram)的路由算法. 许多学者都在探求基于面向连接网络结构的鲁棒路由算法. 为了增强鲁棒性, Markus Werner 等学者提出的基于 ATM 的动态路由算法(下面简称 M. W 算法)按上述算法同时计算出若干条优化后备路由, 并且在同一对源节点和目的节点之间各个路由路径之间不相交(即不同路径之间不存在重复链路). 这些动态路由算法简单、快速, 但是后备路径是有限的(对于铱星最多有 4 条后备路径), 因此, 鲁棒性也只是一定程度上的. 当毁坏的链路达到一定数量时, 网络的性能将急剧下降, 且有可能出现某些卫星之间不能互相通信的情况. 本书针对 LEO 卫星网络路由算法的鲁棒性进行了以下几方面的创新性研究.

(1)在详细分析并比较了目前 LEO 卫星网络各种路由算法鲁棒性的基础上提出一种鲁棒路由算法. 实现了只要源卫星与目的卫星之间存在一条路径, 源卫星便可以与目的卫星通信. 同时, 当存在多条路径时, 源卫星能够以最快的速度寻找一条从源卫星到目的卫星的局部最优路径. 既保证了网络的性能, 又大大提高了网络的鲁棒性. 本算法用 NS-2 仿真软件, 在 SUN 工作站上以铱星系统为例做了仿真实验. 为了体现鲁棒性, 将本算法与 M. W 算法进行比较. 需要指出的是, 本算法是与动态路由过程并行执行的, 或者说是在后台执行的, 并不占用路由时间. 在某颗源卫星到其他目的卫星的后备路径用完之前, 网络的性能指标与原来的动态路由算法一样. 当某颗源卫星到某颗目的卫星的后备路径用完后, 按照本路由算法, 该源卫星发出的分组将沿着从源卫星到该目的卫星的一条目前存在的局部最优路径(跳数最少), 使源卫星与该目的卫星继续通信, 通过仿真得出结论, 这时网络的性能要比使用原来的动态路由算法时优越.

(2)研究并提出了可应用到鲁棒路由算法中的故障链路检测方法. 该方法通过构建离散时间动态虚拓扑图(DT-DVTG), 源卫星能够自主地、实时地检测(identification)出最可能出现故障的链路范围, 并通过快速的测试可精确定

位故障链路。通过在卫星网络上的仿真表明,其具有实时性、精确性且可能不占用或只占用很少的额外带宽等优点。链路检测算法保证了鲁棒路由算法的有效性,为鲁棒路由算法能够很好地运行提供了坚实的保证,使之具有触发迅速、适应性强、抗毁能力高等特点。特别是,由于链路检测算法支持动态路由,使鲁棒路由算法在保持原有动态路由算法各项性能指标的基础上进一步提高鲁棒性。尤其是在战争等条件恶劣的环境下使卫星网络仍能正常工作。

(3)为了保证故障链路检测的准确性,本书提出了采用组合方式的切割方法,并提出了相应的计算机实现方法。同时,利用在线定位源卫星可以自主地精确检测出故障链路的位置。

(4)提出了基于迭代的故障概率计算方法,比前人提出的基于 Bayes 理论的计算方法更适于计算机编程,并且计算复杂度更低,提高了运算速度。

另外,本书对卫星网络的 TCP 协议进行了研究,所涉及网络包括自组网(ad hoc 网络)、卫星网络和行星际网络。因为这三种无线网络有比较相似的网络特性,TCP 协议在其网络中运行也会面临一些类似的问题,所以将三种无线网络中的 TCP 协议一并讨论。本书首先分别研究三种无线网络,提出适应各自网络环境的 TCP 协议改进方案;然后综合三种无线网络 TCP 协议的研究改进成果,分析了混合网络结构下的 TCP 协议性能,进而提出具有自适应特性的适合各种网络环境的 TCP 协议改进方案。具体如下:

(1)在自组网环境下,首先以 Vegas 算法与 Vegas-A 算法为基础,展开了对 TCP 协议的一系列改进研究。在评价 Vegas 算法与 Vegas-A 算法性能的基础上,结合自组网的特点,提出了改进的协议——TCP-Mobile 算法,并对该算法进行了深入的性能分析。仿真结果表明,在自组网中 TCP-Mobile 算法具有更好的性能。最后,详尽分析了 TCP 段长度对自组网中 TCP 协议性能的影响。

(2)在卫星网络环境下,首先系统地分析了 LEO 卫星网络内各种 TCP 算法的协议性能;同时,指出了单一链路与全网络模拟可能带来的区别。然后提出了两种改进的 Vegas 算法:Vegas-AB 算法和 Vegas-R 算法。仿真实验表明,Vegas-AB 算法能够改善 TCP 协议在 LEO 卫星网络内的性能表现,而 Vegas-R 算法能够改善 TCP 协议在 GEO 卫星网络内的性能表现。最后,为了适应卫星网络环境的较大往返延迟,提出了 TCP-Satellite 算法,并对该算法在卫星网络内的性能进行了仿真分析。

(3)在行星际网络环境下,首先分析了 Reno 算法和 Vegas-R 算法在行星际网络内的性能表现,综合上面这些研究成果,提出了 TCP-Interplanetary 算

法, 并对该算法进行了详尽的分析. 该算法可以适应行星际网络环境的特殊特点, 能够应对极大延迟下的链路错误, 还能够处理极大延迟下的网络拥塞. 因此, TCP-Interplanetary 算法在行星际网络中取得了较好的网络性能.

(4) 在混合网络环境下, 重点研究了多种物理网络联合通信的 TCP 协议性能问题. 在详细研究混合网络内 TCP 协议性能的基础上, 设计了一个可以自动适应各种网络运行状况的 TCP-Adaptive 算法. 该算法能够自动区分并适应各种网络状况. 在连接建立阶段, TCP-Adaptive 算法可以适应 RTT 的大小, 设定参数与应对策略; 在协议运行过程中, TCP-Adaptive 算法能够观测错误率并估计可用带宽, 然后采用相应策略与算法来应对. 因为网络的联合运行不可避免, 不能各自为政, 须统一处理于 TCP/IP 协议之下; 必须由一个统一的 TCP 协议来处理混合网络的通信问题. 最后的仿真实验表明, TCP-Adaptive 算法能够改善 TCP 协议在混合网络下的性能表现.

本书内容分为两大部分: 卫星网络鲁棒路由算法研究和 TCP 协议研究. 第一部分包括第 1~5 章, 第二部分包括第 6~10 章. 第 1 章为绪论, 主要介绍了卫星通信系统的分类、现状及发展趋势, 并简要介绍了卫星网络的特点. 第 2 章介绍了 LEO 卫星网络的路由技术及其现有的一些路由算法, 并对其性能分别进行了分析. 第 3 章通过对一个问题的分析, 提出了基于概率方法的卫星链路自主检测算法, 其中包括 DT-DVTG 模型的建立、组合切割方法、概率检测方法、故障定位方法, 并对自主检测算法进行了程序开发与设计. 第 4 章描述了基于 ATM 的 LEO 卫星网络鲁棒路由算法, 通过编写计算机程序对该算法进行了仿真, 给出了仿真结果并对其进行了详尽的分析. 第 5 章介绍了 NS 仿真工具以及鲁棒路由算法的仿真策略和实现过程. 第 6 章介绍了无线网络的 TCP 性能研究现状. 第 7 章提出了自组网中 TCP 拥塞控制算法改进的一系列措施. 第 8 章提出了改进的卫星网络中 TCP 拥塞控制算法, 即 TCP-Satellite 算法, 并对卫星网络仿真的方法进行了探讨. 第 9 章提出了行星际网络中 TCP 协议的改进协议, 即 TCP-Interplanetary 算法, 并对该算法进行了详尽的分析. 第 10 章分析了混合网络中 TCP 协议的性能表现问题, 进而提出了一个自适应的 TCP 算法, 即 TCP-Adaptive 算法.

LEO 卫星网络路由算法的鲁棒性是衡量卫星网络通信质量的一个重要指标, TCP 协议的性能则是信息可靠传输的保证, 其中还存在许多需要解决的问题. 本书虽然做了一定的研究工作, 但是由于问题广泛、复杂, 并且受到实验环境和作者水平的限制, 仍然存在许多值得深入研究的问题, 诚望读者批评

指正。另外，该书在编写的过程中难免会出现错误，在此敬请读者原谅。

首先我们衷心感谢辽宁省教育厅对本书的出版提供了资助，感谢北京师范大学出版社的编辑和印刷人员为本书的出版付出的辛勤劳动。

感谢东北大学信息科学与工程学院教授、作者赵志刚的博士阶段导师王光兴教授和博士后阶段导师王建辉教授，感谢李喆教授、赵林亮教授等给予的热心指导和建议，感谢王亚沙博士、李冬妮博士、王庆辉博士、姜月秋博士、刘军博士等同志的帮助，感谢参与研究工作的李昊、于华、卢海滨、张捷、李汉辉、冷元刚等有关学生，他们和我们一起做了大量创造性的研究工作。另外，吴鹏、王晨、王晓薇、赵永翼、李航、宋波、权奇哲、张勇、于世东等老师也参与了本书的编写工作，在此一并感谢。

感谢许许多多的科研工作者，本书的许多思想和概念都来自于他们的辛勤工作，希望在参考文献中能够表达出他们的贡献。

作者

2011年10月于沈阳师范大学

目 录

第 1 章 卫星网络通信基础	(1)
1.1 空间网络简介	(4)
1.2 卫星通信系统简介	(8)
1.3 LEO 卫星网络的特点	(16)
1.4 卫星 ATM 网的特点及其发展现状	(19)
第 2 章 卫星网络中的路由算法及性能分析	(21)
2.1 LEO 卫星网络路由技术	(22)
2.2 LEO 卫星网络路由算法设计应注意的几个问题	(31)
2.3 LEO 卫星网络中的路由算法	(32)
2.4 现有路由算法鲁棒性分析	(43)
第 3 章 基于概率方法的卫星网络链路自主检测	(44)
3.1 问题的提出	(46)
3.2 DT-DVTG 模型的建立过程	(48)
3.3 链路故障检测	(54)
3.4 故障链路的定位	(59)
3.5 链路故障检测举例	(61)
3.6 程序实现	(63)
3.7 性能分析	(79)
第 4 章 基于 ATM 的 LEO 卫星网络鲁棒路由算法	(84)
4.1 算法描述	(84)

4.2	在线寻路过程	(87)
4.3	程序实现	(91)
4.4	程序测试	(99)
4.5	仿真分析与结论	(105)
第 5 章	仿真实验环境	(109)
5.1	NS 成员	(111)
5.2	NS 体系结构	(113)
5.3	NS 工作机制	(116)
5.4	NS 相关工具	(119)
5.5	卫星网仿真实验方案	(120)
5.6	仿真前的准备工作	(124)
第 6 章	无线网络 TCP 性能分析	(131)
6.1	无线网络的发展与特点	(131)
6.2	TCP 协议介绍	(137)
6.3	三种无线网络中 TCP 协议面临的问题与目前的解决方案	(145)
第 7 章	自组网 TCP 拥塞控制算法	(157)
7.1	Vegas 算法与 Vegas-A 算法介绍	(158)
7.2	研究历程介绍(Vegas 1, Vegas 2 和 Vegas 3 算法)	(161)
7.3	TCP-Mobile 算法	(175)
7.4	TCP 段长度对拥塞控制协议的影响	(182)
第 8 章	卫星网络 TCP 拥塞控制算法	(194)
8.1	卫星网络现有算法性能分析	(195)
8.2	LEO 卫星网络内的 Vegas-AB 算法	(201)
8.3	GEO 卫星网络内的 Vegas-R 算法	(204)
8.4	适合卫星网络特点的改进算法 TCP-Satellite	(207)
第 9 章	星际网络 TCP 拥塞控制算法	(212)
9.1	现有算法 Reno 与 Vegas-R 的性能研究	(213)
9.2	适合星际网络的 TCP-Interplanetary 算法	(216)
第 10 章	混合网络 TCP 拥塞控制算法	(221)
10.1	GEO 卫星与陆地链路混合网络内 TCP 协议的性能表现	(222)
10.2	具有自适应特点的 TCP-Adaptive 算法	(227)
10.3	TCP-Adaptive 算法性能仿真分析	(230)
	参考文献	(243)

第1章

卫星网络通信基础

在通信系统领域,卫星通信已经成为一个重要的组成部分。卫星通信是指利用人造地球卫星作为中继站转发无线电信号,在多个地面站之间进行的通信。卫星网络实现了全球通信,既可用于建有陆地网络的地区,也可用于没有构建陆地网络的地区。在建有陆地网络的地区,用户可以通过双模式中断选择介入陆地或卫星网络,而在没有建设陆地网络的地区,卫星网络可以覆盖那些由于地理条件差或没有足够用户群的区域^[1~3]。整个通信系统由空间部分的通信卫星和地面部分的卫星测控站与卫星通信地球站组成。其具有覆盖面宽、传输距离远、不受地理限制、机动灵活、通信容量大、通信质量高、组网方便等优点,特别是其多址灵活性和可移动通信的优点是其他通信方式所不具备的。卫星通信是把通信卫星作为中继站在地球上各点之间实现随时随地的通信,是目前远距离通信中最先进的一种通信方式。它分为卫星电视广播(包括电视、音频广播、多媒体等)、卫星固定通信、卫星移动通信和卫星互联网接入等领域。1957年10月4日,人类终于突破运载火箭的难关,把世界上第一颗人造卫星送上空间轨道运行,开创了航天新纪元^[4]。

20世纪60年代中期,人类首次利用地球同步轨道通信卫星提供横跨大西洋的直通电信业务。人造卫星的问世,给人类的生产和生活带来了深刻变化。人造卫星利用它在太空轨道上的高远位置、高真空、高洁净、微重力、强辐射等环境资源和优势,在空间科学研究、对地观测、通信广播、气象减灾、导航定位、资源勘探、军事应用等方面都发挥着重要作用,成为现代社会发展的一种强大力量^[2]。在卫星系统中,低地球轨道卫星系统由于能够提供世界范围内

的连接和实时语音通信服务而成为卫星通信近期研究的新热点。

在军事上,随着航天技术的发展,空间的战略地位日益引起各国的重视,许多国家大力发展航天技术。迄今为止,世界各国发射的各类航天器已达 5 000 多颗(美、俄占绝大多数),其中军用航天器约占 70%。国外从事航天活动的国家中,美国拥有十分健全的军用卫星系统,代表着世界最先进水平,同时还拥有由运载火箭、航天飞机和空射型运载火箭组成的运载系统,具备轻、中、重型等不同种类的完善的发射能力和配套的发射测控系统及严密的防天监视系统。其次是俄罗斯、法国和英国。此外,北约、德国、意大利、西班牙、加拿大、澳大利亚、日本、印度、以色列和韩国等国家或组织,也都不同程度地在发展和使用军用卫星系统^[1,4]。土耳其、越南、泰国、朝鲜等国也试图发展军用航天系统。据分析,全球将有超过 50 个国家拥有自己的航天体系。少数大国垄断军事航天领域的局面将被打破,军事航天体系将呈现多极化格局。

美国准备到 2025 年建成功能完善、攻防兼备的“空间网”。俄罗斯也提出要建立由 115 颗卫星组成的、通过星际链路将侦察与通信融为一体的“多功能卫星通信与远程地球监视系统”。

我国自 1970 年 4 月 24 日成功发射第一颗人造地球卫星以来,航天技术已经取得长足的发展。目前,我国已经形成了返回式遥感卫星、“东方红”通信广播卫星、“风云”气象卫星和“实践”科学探测试验卫星四个系列,地球资源卫星、导航定位卫星和海洋卫星也开始向系列化方向发展。

从 1999 年到 2002 年,我国连续四次成功发射“神舟”系列无人试验飞船,引起全世界的极大震动。2003 年 10 月 16 日上午 6 时,“神舟”五号飞船顺利着陆,标志着我国首次载人太空飞行取得圆满成功,成为继苏联(俄罗斯)、美国之后,第三个独立自主开展载人航天活动的国家。中国参与载人航天竞争,打破了美、俄在此领域一统天下的局面,将改变 40 多年来的国际载人航天两极对抗格局,中国已经成为国际航天舞台上不可忽视的重要力量。

21 世纪是空间探索 and 开发应用的世纪,以进入空间、利用空间、控制空间为特征的“制天权”的争夺日趋激烈。越来越多的事实表明,未来战争的核心是信息战。空间信息网络在信息战中的地位日益突出和重要。为了赢得未来高科技条件下局部战争的胜利,我国必须建立自己的空间信息网络。如果说确保国防安全是建立空间信息网络的直接原因,那么,为国民经济服务和促进科学技术的发展,则是建立空间信息网络的重要因素。事实上,空间信息网络是一项战略性基础设施,是包含诸多高新技术的大型工程,它的建立和建成必将对

我国综合国力的增强产生深远的影响。

航空航天技术应用于军事领域,在为战略决策服务的同时,也极大地提高了武器装备的整体作战效能,直接支援作战行动,发挥并正在发挥着重要的不可替代的作用。现代战争由平面转向立体,导致国际范围内的战争格局发生重大变化。在现代战争中,“制天权”的取得成为战争胜负的决定性因素,这一点在1991年海湾战争、1998年巴尔干半岛冲突以及2003年伊拉克的战火中得到了充分的证明。军事专家普遍认为“空间战”已经成为现代战争的一个重要方面。美国自海湾战争对军用航天系统进行全面演练后,更加重视太空战理论。近年来,美国又不断进行太空战模拟演习,向天基防御和攻击系统扩展,美国空军最近公布了一份名为《转型飞行计划》的空间发展报告。在这份长达176页的报告中,详细论述了在未来10余年中发展空间武器技术的必要性,对如何扩充美军的空间作战装备作了非常全面的规划。这些都将不可避免地把航天技术的发展推向一个新阶段。

新一轮空间军备竞赛的序幕已经拉开,各航天大国正在继续发展和完善自己的航天力量。未来围绕空间网络而展开的攻击与防护之间的对抗将难以避免,军用航天系统必将受到干扰、攻击和破坏。

因此,为了在未来的天战中采取主动,集中力量加紧对关键技术的预研,全面探索构筑太空这一战略制高点的战略与途径已经是目前各国在军事发展方面的共识。

由于LEO具有相对地面高速运行和其网络拓扑结构的快速动态变化等特点,有可能由于负载的不均衡或不能正常工作的节点而产生拥塞。由于设备的故障或电源能量不足而造成链路断开等,特别是在战争等条件下的军事卫星网络,卫星链路故障更会大量地、频繁地出现。未来战争要求军用空间网络具备极强的自我防护和系统修复、重组能力,能够在敌方的打击下生存下来。由于空间网络通信所固有的一系列脆弱性,比如宇宙空间辐射干扰源(主要指太阳,若是激光链路,则月球的反光也要考虑)对节点间链路造成的背景干扰。这些干扰可能使得一些链路发生突发性的失效。更为严重的是,航天器公开地暴露在空间轨道上,很容易受到非法的截获、干扰乃至摧毁。一旦出现问题,则导致网络性能下降,甚至造成全网瘫痪。这使得空间网络的安全防护需求极为迫切^[5],从而对卫星网络的可靠性、自治性与鲁棒性提出了更高的要求。路由问题一直是LEO卫星网络研究的重点。LEO卫星网络的一大挑战就是提出详细有效的路由算法。

1.1 空间网络简介

现在使用的军用航天系统互通互联性差,彼此信息不能及时共享和综合利用,未来的军事航天将向网络化方向发展,部署在不同轨道、执行不同任务的航天器组成一个由高空到低空的“混成网络”,按照空间信息资源的最大有效综合利用原则,通过航天器间通信链路的互通互联,构成智能化体系,形成自主运行的通信网络.用于各种信息的获取、处理和分发,并具有宽带大容量的数据传输能力.网内各航天器系统既能独立运行,又能相互沟通,组成互联的综合信息网,从而夺取信息优势^[2~4].

我国著名科学家钱学森院士曾经指出,航天器在大气层以外、太阳系以内的航行活动称航天,在太阳系以外的航行活动称为航宇(或称宇航).这一点已经在航天科技界达成了广泛共识.空间网络的节点主要由以下几种航天器组成.

1.1.1 无人航天器

1. 人造地球卫星

1957年10月4日苏联成功发射了世界上第一颗人造地球卫星“卫星1号”,标志着人类航天时代的到来.人造卫星是发射数量最多、用途最广、发展最快的航天器,其发射数量约占航天器发射总数的90%以上.从20世纪50年代末到60年代初期,各国发射的人造卫星主要用于探测地球空间环境和进行各种卫星技术试验.60年代中期,人造卫星开始进入应用阶段,各种应用卫星先后投入使用.从70年代起,各种新型专用卫星相继出现,性能不断提高.

随着微电子技术、通信技术和全球个人通信的进展,卫星通信系统以其特有的优势(如三维无缝隙覆盖能力、任意点对多点和多点对多点广域复杂网络的拓扑构成能力、布置迅速、不受地理环境条件限制等),成为地面各种传输手段必不可少的支持和补充,而且被认为是未来发展中国家通信体系以及发达国家建设多媒体通信和信息高速公路的关键部分.自从无线网络在20世纪70年代产生后,在计算机领域里日趋流行,尤其是最近十年,无线移动通信网络的发展更是一日千里,甚至有人预言,未来的十年将是卫星通信的十年^[5,6].

卫星通信系统按照轨道高度可分为三个类型:静止同步轨道(Geostationary Earth Orbit, GEO)卫星通信系统、中轨道(Medium Earth Orbit, MEO)

卫星通信系统和低轨道(Low Earth Orbit, LEO)卫星通信系统。近年来,随着技术的发展,LEO和MEO卫星通信系统以其优越的性能吸引了卫星通信业界和科研人员越来越多的眼光,将逐渐取代GEO系统。

所谓卫星网络,就是以太空中的卫星为网络节点、通过卫星之间的星际链路(Inter-Satellite Link, ISL)进行连接所组成的通信网络。它是当前空间网络的主体,受到世界各国的普遍重视,并且在现代历次高技术局部战争中展示了其举足轻重的地位和作用。

2. 深空探索

星河灿烂,深空遥远。第一颗人造卫星进入地球轨道飞行之后不久,人类向地外星球进军就提上了日程。现在,人类制造的宇宙探测器不仅为人类登上月球开辟了道路,而且已经遍访了太阳系的各大行星。同时,正在向太阳系外更遥远的星球跋涉。

空间探测器主要为月球探测器、行星和行星际探测器。研制和发射行星际探测器的主要目的是对月球及太阳系内各行星进行系统考察,研究月球、火星、金星、木星、土星、天王星及其卫星等,发射最多的是火星探测器。

1.1.2 载人航天器

载人航天器有载人飞船、空间站、航天飞机和空天飞机等。

1. 载人飞船

1961年4月12日,苏联第一艘载人飞船“东方1号”进入地球轨道,加加林是第一个进入太空的人。1969年7月16日,带有“阿波罗11号”飞船的“土星5号”火箭在美国卡纳维拉尔角准时点火,拉开了人类登月的伟大历史帷幕。阿姆斯特朗和奥尔德林成为最早登上月球的人。苏联用于载人的宇宙飞船有“东方”系列、“上升”系列和“联盟”系列。而美国曾先后研制发射了“水星”系列、“双子座”系列和“阿波罗”系列飞船等。

载人飞船比卫星大,需配备维持生命的系统和返回设备,其主要用途有:(1)试验各种载人航天技术,开展航天医学、生理学、生物学等方面的研究和天文观测;(2)可用做空间站乘员的救生艇来接送宇航员和运送物资;(3)可实施变轨,降低高度进行军事侦察和地球资源勘测;(4)载人绕地球、月球和登月飞行;(5)载人进行星际飞行,遨游宇宙。

但是,飞船容积小,所载消耗性物资有限,不具备再补给的能力,所以,它的太空运行时间有限,仅能够使用一次。

2. 空间站

人类并不满足于在太空进行的短暂旅游,为了开发太空,需要建立长期生活和工作的基地。于是,随着航天技术的进步,在太空建立新居所的条件成熟了。1971年4月19日,苏联发射了第一艘长期停留在太空的“礼炮1号”空间站,从此载人太空飞行进入了一个新阶段。

空间站比载人飞船大而且可携带更多的仪器设备。苏联曾先后研制发射了“礼炮号”“东方号”“上升号”“联盟号”与“和平号”空间站。美国曾先后研制发射了“水星”“双子座”“阿波罗”和“天空实验室”空间站。

目前,正在运行的国际空间站是由美、俄等16个国家联合建造、运行在近地轨道上的巨型航天器。它耗资600亿美元,于2005年前建成。整个空间站需俄罗斯火箭48次发射和美国航天飞机30次飞行运送,最终在轨道上组装完成,可载7人长期工作。目前,在太空运行的国际空间站的基本部分,是由1998年11月发射的俄罗斯“曙光号”功能货舱与同年12月升空的美国“团结号”节点舱对接而成的。

与载人飞船相比,空间站容积大、载人多、寿命长,可综合利用,是发展航天技术、开发利用宇宙空间的基础设施。

3. 航天飞机

1981年4月12日,美国第一架航天飞机“哥伦比亚”号成功发射,揭开了人类航天史上新的一页。航天飞机集火箭、卫星和飞机的技术特点于一身,能像火箭那样垂直发射进入空间轨道,又能像卫星那样在太空轨道飞行,还能像飞机那样再入大气层滑翔着陆,是一种新型的多功能航天飞行器。可重复使用是航天飞机区别于所有消耗性运载火箭的最基本标志。航天飞机发射成功对使用一次性火箭作为运载工具的方法是一次突破,也是航天工程从初期发展进入到提高效率、节省费用、扩大活动规模阶段的重要标志。

1986年1月28日,美国“挑战者”号航天飞机升空72秒后爆炸,包括一名中学女教师在内的7名美国宇航员无一生还;2003年2月1日,“哥伦比亚”号航天飞机在返回地面前解体坠毁,机上7名宇航员全部遇难。现在,美国还有三架航天飞机,即“奋进”号、“发现”号和“亚特兰蒂斯”号。

4. 空天飞机

空天飞机是航空航天飞机的简称。顾名思义,它集飞机、运载器、航天器等多重功能于一身,既能在大气层内做高超音速飞行,又能进入轨道运行。与航天飞机相比,空天飞机多了一个在大气层中航空的功能,而且它起飞时也不

使用火箭助推器。

空天飞机的奥妙之处在于它的动力装置。这种动力装置既不同于飞机发动机，也不同于火箭发动机，是一种混合配置的动力装置。它由空气喷气发动机和火箭喷气发动机两大部分组成，空气喷气发动机在前，火箭喷气发动机在后，串联成一体，为空天飞机提供动力。

空天飞机可以在一般的大型飞机场起落。起飞时空气喷气发动机先工作，这样可以充分利用大气中的氧气，节省大量的氧化剂。飞到高空后，空气喷气发动机熄火，火箭喷气发动机开始工作，燃烧自身携带的燃烧剂和氧化剂。降落时，两个发动机的工作顺序同起飞时相反。