

国际卫星光通信技术发展

谭立英 马 晶 林维秋

(哈尔滨工业大学可调谐激光技术国家级重点实验室,哈尔滨,150001)

黄 波

(总装备部,北京,100034)

摘要: 回顾了各国卫星光通信发展的历史,并分析了卫星光通信技术的发展趋势。对于今后商业上对卫星光通信的需求作了介绍和分析。

关键词: 卫星光通信 历史回顾 技术发展

Technology development of inter-satellites optical communications

Tan Liying, Ma Jing, Lin Weiqiu

(National Key Laboratory of Tunable Laser Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin, 150001)

Huang Bo

(General Armament Department, Beijing, 100034)

Abstract: In this paper, the history of development of intersatellite optical communications in the countries is retrospected, and it analyzes the developing trend of the technology of intersatellite optical communications. The commercially demand for intersatellite optical communications in the future is introduced and analyzed.

Key words: intersatellite optical communications history in retrospect development of technology

引 言

卫星光通信是一个较新的研究领域,并越来越得到各国政府的重视。美国、欧洲、日本等

出结论:采用围桶能量定义光束参量时,对于稳定谐振腔中实际光束同样可以定义 q 参数, q 参数满足 $ABCD$ 法则。作为这一结论的一个应用,证明了谐振腔中实际谐振光束的光斑和发散角分别是基模高斯光束的 M 倍。由于围桶能量下的光束参量的测量方便实用,因此,这一结论对于正确认识稳腔中的谐振光束的特性有重要意义。

参 考 文 献

- 1 Siegman A E. SPIE, Optical Resonators, 1990; 1224: 2 ~ 14
- 2 陈培锋,丘军林. 激光技术, 1996; 20(1): 46 ~ 49
- 3 周炳琨,高以智,陈家华 *et al.* 激光原理. 北京:国防工业出版社, 1991
- 4 陈培锋,丘军林. 激光与光电子学进展, 1996; (7): 97

作者简介:王 英,女,1962 年出生。讲师。现从事固体激光器件和固体激光应用的研究。

已全面开展了此方面的研究。研究显示,卫星光通信具有重要的应用前景。可应用于低轨道卫星与高轨道卫星(L EO- GEO)通信、高轨道卫星与高轨道卫星(GEO- GEO)通信、低轨道卫星与低轨道卫星(L EO-L EO)通信、空间与地面(GEO- Ground)通信链路,也可应用于深空探测、载人航天空间站通信,尤其是近年来发展的低轨道小卫星星座更迫切需要用光实现链路。我国正积极开展这方面的研究。可以预见在不远的将来,由于用光实现了卫星链路,将给我国的卫星光通信带来巨大的经济效益和军事通信进一步现代化的显著变化。

1 卫星光通信历史发展

事实上,各国在刚开始考虑用光实现卫星通信时,元器件技术根本不能支持空间系统的发展,可能的激光光源和实验室装置相当笨重。只有在近几年,随着半导体激光器的发展和相应的探测元件、光学元件的发展,卫星通信才进入了实用的商业化发展阶段。

美国及欧洲和日本的一部分有关空间光通信的计划发展及进行的历史情况如图1所示。图中的横坐标是按各个计划所确定的数据率高低排列,标度是取对数坐标;而纵坐标是按计划中的激光发射机的发射功率排列,也是对数坐标。图中每个圆(方)圈(点)代表一个研究计划,旁边标明计划的名称(缩写)以及计划实施的年代。应该指出,图1中并没有包括各国所有的空间光通信研究计划,尤其欧洲的很多计划并没有包括进去。

空间光通信的历史显示,空间光通信已拥有明显的优势。从图1可以看出,随着激光光源及光学元件、电子器件的发展,激光发射功率呈上升趋势,通信数据率逐步增加。

2 卫星光通信系统发展回顾

用光进行空间通信的设想最早可追溯到1945年Arthur Clarke发表在《无线电世界》上的一篇文章^[1]。在这篇文章中,提出了在卫星间进行光通信的设想。但直到

70年代初期才开始进行自由空间光通信系统的研究,70年代末设计出第一个光学空间通信终端系统。在卫星与卫星之间、卫星与空间站之间及空间站之间的直接光通信系统可以改变现在需要通过大型地面微波中继站进行卫星间通信的方式,且使空间通信容量大增。同时,各空间站及卫星间也可进行直接通信,使通信更具有保密性,并避免了在国外设地面站的一些困难,地面站最少可只有一个。下面将主要以欧空局空间光通信研究历史为背景,回顾光通信发展过程。

2.1 美国

图1中所标示的有关空间光通信方面的研究计划,除了分别用不同符号标明为欧洲和日本的计划外,其它都是美国的研究计划。美国开展空间光通信方面的研究最早,于60年代中期就开始实施空间光通信方面的研究计划。美国NASA的JPL实验室早在70年代就一直进

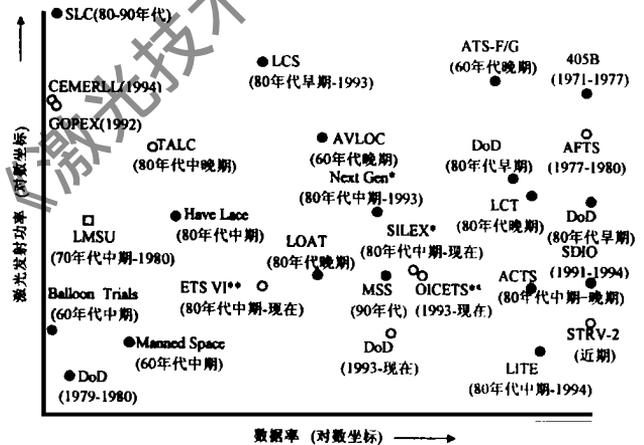


图1 空间光通信计划的历史发展
 —已成功完成或处在不断发展中的计划 —部分成功完成的计划
 划 —已结束的计划 *—欧洲的计划 **—日本的计划

行卫星激光通信的研究工作,其它如林肯、贝尔等著名实验室也都开展了空间激光链路的研究^[2]。近几年来,空间激光链路研究已成为美国的研究热点,这将改变近些年美国在这一领域的研究落于欧洲甚至日本之后的局面。

美国空间光通信研究的历史展示了随着技术的进展,空间光通信技术不断改进的过程。在美国开始进行空间光通信研究时,选用的光源是 CO₂ 激光器。随着激光器的发展,空间光通信系统选用的光源也不断发生变化,现在研制的空间光通信系统的星上光源都选用半导体激光器。以美国著名的 JPL 实验室近几年研制的一套空间光通信系统为例,在该系统中分别采用波长为 810nm 和 852nm 的 GaAlAs 半导体激光器作为通信光源和信标光源,调制方式为直接电流调制。为了提高系统的数据率,此套装置中采用了波长相同、但具有不同偏振方向的两路光通道进行数据传输,每路通道传输数据率为 600 Mbps,从而使整个系统的数据率达到 1.2 Gbps^[3],这是提高空间光通信系统数据率的一个有效方法。另一种提高系统传输数据率的方法是波分复用(WDM),即在空间光通信系统中采用不同波长光源同时传递数据,构成多路通道,如美国 MITRE 公司以美国第二代中继星 TDRSS II 为背景需求而研制的波分复用方法。在该空间光通信模拟实验系统中,波长分别为 810,830 及 860nm 的三个半导体激光器构成三个通道。在接收端,利用干涉滤光片将三个不同波长的光信号分开^[4]。这样的波分复用系统对提高数据率是很有吸引力的,因此,现在各国已十分重视对应用于空间光通信系统的波分复用器件及技术的研究。

2.2 日 本

日本于 80 年代中期开始了空间光通信的研究工作,主要有邮政省的通信研究室(CRL)^[5]、宇宙开发事业团(NASDA)和高级长途通信研究所(ATR)的光学及无线电通信研究室进行这方面的工作^[6]。图 1 中只标出了日本的两个计划——ETS-VI 和 OICETS 计划,这是两个十分引人注目的空间光通信研究计划。尽管日本开展空间光通信研究比美国和欧空局晚,但是进展迅速。ETS-VI 计划旨在进行星地之间的空间光通信实验,且已于 1995 年 7 月成功地日本的工程试验卫星 ETS-VI 与地面站之间进行了星-地链路的光通信实验,这是世界上首次成功进行的空间光通信实验。此举使日本一跃而居空间光通信研究领域之首位。日本和欧空局还将利用各自研制的、装于各自卫星上的空间光通信终端,合作进行空间光通信系统的空间实验,这进一步显示出空间领域逐步走向国际合作化的趋势。

日本星地链路光通信实验的成功,进一步证明了空间光通信中难度最大的链路——星地链路的可行性。此外,日本还在 OICETS 计划中,积极研制专用于进行空间光通信系统实验的小型光学星间通信工程试验卫星(OICETS)。OICETS 只携带光学终端、质量为 500kg,它将在 500km 的低轨道上运行。OICETS 的目的是在空间对空间光通信的探测、跟踪等光学技术及光学装置进行实验,以评价及改进空间光通信技术及装置。目前,OICETS 计划正在积极的实施中。

2.3 欧 洲

欧洲空间局(ESA)于 1977 年夏就开展了高数据率空间激光链路研究,至今欧空局在空间光通信方面已经进行了二十余年的研究工作^[7]。ESA 先后在空间光通信研究方面制定了一系列计划,有步骤地开展对空间光通信各项技术的研究,现已在该领域的一些关键技术方面处于明显的领先地位。

图 1 中给出了 ESA 在 80 年代中期制定的一个远大计划: SILEX(半导体激光卫星间链路

实验)计划,这是一个空间光通信方面非常著名的研究计划。SILEX系统是由装在欧空局(ESA)的ARTEMIS(Advanced Relay and Technology Mission Satellite)卫星和法国地面观测卫星SPOT-4上的两个光通信有效载荷组成,同时还建立一个空间光通信地面站。SILEX计划将在2000年运行,该计划将使ESA在民用卫星光通信方面处于领先地位。在SILEX计划中,还包括与日本合作进行空间光通信实验的内容,日本用自己的装于OICETS卫星上的激光通信终端LUCE(计划于2000年的夏季发射)与SILEX系统进行通信实验。

SILEX计划的发展已形成ESA的卫星光通信骨干,近年,欧空局已着手发展吸引人的第二代系统。从而在世纪之交,商业卫星市场将有数千颗卫星实现RF(射频)和光学链路,以实现商业多星座链路,提供移动通信、电视会议和多种方式服务。欧洲空间激光通信工业已开始了对可获利的市场的竞争。光学技术在重量、能量、系统灵活性和费用上比RF技术具有更多优点。随着二十多年来的技术研究运行,欧洲工业正面临着对商业激光终端的需求。

2.3.1 技术发展状况

欧空局在空间光通信研究中不断采用当代最新技术,它所发展的一系列空间光通信终端形象地展示了高新技术的发展对其影响。在SILEX终端中,采用800nm左右的GaAlAs半导体激光器。80年代末,这种半导体激光器平均功率60mW,它限制了SILEX终端数据率的提高,在LEO和GEO终端光学望远镜口径都是25cm的条件下,SILEX终端从LEO向GEO传输数据率为50Mbps,且SILEX终端的质量是157kg,功耗为150W,这样的SILEX终端很难替代RF终端。

随着技术的不断进展,欧空局开始发展第二代空间光通信系统。ESA于1992年1月开展研制精巧的小光学用户终端(SOUT)计划^[8]。SOUT计划不再采用相同的LEO与GEO终端,而是采用较小的LEO发射机来集中发展一种不对称的系统,以减少对空间飞行器的限制。由于SOUT终端采用发射功率达1W的、具有与SILEX终端相同波长的半导体激光器,在发射天线直径为7cm时,数据率可达到420Mbps,同时,功耗降为40W,质量仅为25kg。SOUT计划在1994年12月顺利完成。

继SOUT计划后,1995年ESA开始进行改进SOUT终端的ARTES-4合作计划。该计划研究由SOUT终端向新型终端——SOTT终端转变所需全部技术。由于采用新型的MOPA(主振荡能量放大)半导体激光器而使通信容量大增。目前,SOTT计划正向着数据率1Gbps和星间距离达到83000km的GEO-GEO链路(如在the Hughes Spaceway系统中那样)发展。

ESA近年发展了一种引人注目的甚小光学用户终端VSOUT^[8]。该终端采用衍射光学元件替代以往的透镜组,并采用可以对热膨胀效应进行补偿的玻璃外壳,同时应用先进的微系统设计原理,从而一举使终端质量降到只有10kg,功耗只有20W。而在发射天线直径为7cm时,数据率增到520Mbps;即使发射天线直径缩至2.5cm,数据率仍可达到66Mbps。

2.3.2 相干激光通信系统

现在研制的空间光通信系统多数都是采用半导体激光器的直接探测通信系统。如要进一步提高数据率,必须采用相干系统,例如基于Nd:YAG激光的系统。对相干空间光通信系统,探测灵敏度最高几乎能达到理论上的量子极限。因而自1989年起,ESA大大加强了对Nd:YAG激光相干光通信系统及相关硬件技术研究的投入力度,如ESA在1996年4月开始研制的用于小卫星星座间星间链路的小型化、轻型光学演示终端SROIL^[7]。考虑到小卫星星座中巨大的卫星数量,用于其星间链路的光学终端(如SROIL终端)的成本成为主要因素,且

应达到小型、耐用。因此,在 1998 年夏给出的 SROIL 终端模拟模型计划要求该终端采用以半导体激光器泵浦的 Nd:YAG 激光器为光源的发射机以及具有相干探测的接收机。发射天线孔径为 3.5cm,数据率为 1.5 Gbps 的通信系统被设计成 BPSK(Binary Phase Shift Keying) 自差系统,此举可使通信系统的电子学设计简化。应当说,相干探测系统是将来空间光通信系统的主要发展方向。

ESA 还进行了对一定数量的相干空间光通信系统关键技术及元件的实验及测试,包括半导体激光器泵浦的 Nd:YAG 激光器、多通道相干光接收机、电光位相调制器等。在对相干 Nd:YAG 激光通信系统的研究中也促进了一些新技术、新概念的研究,如光纤光学和半导体技术结合的光放大器,借助于相干耦合技术,使具有较小孔径阵列的终端的输入/输出孔径合成成为可能。光位相阵列通信系统具有无惯性和超快性能,在现有卫星干扰情况下,能达到高精度瞄准、有效的面扫描及可靠的链路跟踪。对该构思可行性和有效性已进行了模拟,具有 16 个 3cm 直径小孔径望远镜的光学位相阵列正在进行研制,现正向着一体化光学位相控制单元发展。

今天,商业市场中能否接受空间光通信并不是技术问题,而是缺乏对商业通信卫星的在轨模拟实验。因此,对各种潜在的在轨模拟实验的研究也是 SROIL 计划的一部分内容。

3 空间光通信发展展望

近年来的商业需求和空间信息公路、信息高速公路的发展,对卫星间激光链路技术要求更加迫切,这些已经作为美国、欧洲、日本等国发展该方面技术的动力,并正向商业应用转化。

现在空间光通信系统发展的趋势主要是:(1) 空间光通信系统的应用正在向低轨道小卫星星座星间激光链路发展;(2) 激光星间链路用户终端向小型化、一体化方向发展;(3) 低轨道小卫星星座激光链路正进入商业化、实用化发展阶段。

在空间光通信研究的前期,主要是以中继星为应用背景。然而,随着小卫星星座的迅猛发展,国外对第二代中继星的兴趣已经下降,对小卫星星座的兴趣大大增加。空间光通信研究工作,已经开始逐渐从以中继星为主要背景转到以小卫星星座为应用背景上。可以预见,研究重点将会逐渐转移到小卫星星座星间激光链路的研究上。基于此点,对小卫星星座星间激光链路的研究工作将在空间光通信的研究中占有重要地位。

参 考 文 献

- 1 Clarke A C. Wireless World, 1945;(10):305
- 2 Lesh J R. SPIE,1995;2381:4~11
- 3 Korevaar E. SPIE,1995;2381:60~71
- 4 Carlson R T. SPIE,1993;1866:226~235
- 5 Furuhami. SPIE,1987;810:147~149
- 6 Masayuki F. SPIE,1991;1522:14~26
- 7 Lutz H P. ESA bulletin-Optical Communication in Space, 1997; 91:25~33
- 8 Wittig. Space Communications, 1994;(12):255~289

作者简介:谭立英,女,1957年9月出生。现从事空间光通信、光学信息处理方面的研究。