

# 卫星激光通信技术研究及其发展状况

刘哲函

( 武汉大学电子信息学院 湖北·武汉 430072)

**摘要** 由于具有大容量、高速率、高保密性等特点,卫星激光通信成为空间通信中的一个重要发展方向。本文介绍了卫星激光通信系统组成及其关键技术。最后详细介绍了国内外卫星激光通信的研究现状及最新发展动态。

**关键词** 卫星激光通信 星间链路 对准跟踪 发展状况

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 1672- 7894 2006) 02- 172- 02

## 一、引言

在现在信息量高速增长的情况下,人们对通信系统容量的要求也在高速增长,而当前无线通信受到带宽和容量限制,已经不能满足当前需要,对图像信息的实时传递更是无能为力。随着激光的产生,光波通信技术日益表现出适应这种通信需求的势头。卫星激光通信是一个较新的研究领域,美国欧洲、日本等国都对此极其关注,并已进行了深入的研究,这主要是因为用激光进行卫星间通信具有如下优点:

开辟了全新的通信频道使调制带宽可以显著增加、能把光功率集中在非常窄的光束中、器件的尺寸、重量、功耗都明显降低、各通信链路间的电磁干扰小、保密性强并且显著减少地面基站,最少可只有一个地面站。

卫星激光通信包括深空、同步轨道、低轨道、中轨道卫星间的光通信,有 GEO (geosynchronous earth orbit, GEO)- GEO, GEO- LEO (low- earth orbit, LEO), LEO- LEO, LEO- 地面等多种形式,同时还包括卫星与地面站之间的通信。随着元器件发展,卫星光通信技术已基本成熟,并逐渐向商业化方向发展,美国、欧洲、日本等国家都制定了多项有关卫星激光通信的研究计划,对卫星激光通信系统所涉及到的各项关键技术展开了全面深入的研究,在最近几年卫星激光通信就将进入实用化阶段。特别是一旦实现小卫星星座之间的激光星间链路及其系统成熟,必将更加促进其商业化发展。可以预言,卫星激光通信必将成为未来超大容量卫星通信的最主要的途径。

## 二、系统及其关键技术

### 1. 系统基本组成

为了实现空间光传输与 ATP(acquisition tracking pointing) 技术,通常需要信号光与信标光。一般的卫星间光通信系统由以下 4 部分组成,其主要部件如图 1 所示。

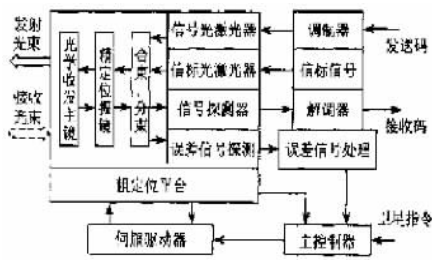


图 1 卫星激光通信系统主要部件图

### (1) 光天线伺服平台

包括天线平台及伺服机构,由计算机控制。在捕获阶段完成捕获扫描,系统处于按预设指令工作状态,将光束引导到粗定位接收视场,从而完成光束捕获。在跟踪、定位阶段,根据跟踪探测器获得的误差信号,经处理后送到伺服执行机构,构成一个负反馈闭环系统,完成精定位。对于运动载体上的光通信系统,为了减小各种扰动误差影响,还需要增加陀螺控制回路。

### (2) 误差检测器

包括光天线及光电探测器。光电探测器一般由捕获探测器和定位探测器两部分组成。捕获探测器完成捕获与粗跟踪,并将接收到的光信号引导到定位探测器上,进行精定位,最后调整收发端,使光束对准。

### (3) 控制计算机

控制计算机包括中心控制处理器与输入、输出接口设备。控制计算机可以接收卫星控制指令,控制天线伺服平台粗对准光链路的连接方向。捕获阶段可以由预定的程序控制光束扫描和捕获。在跟踪阶段,计算机对误差信号进行计算,并实时地输出信号控制天线伺服平台的粗、精跟踪,完成光束的对准。

### (4) 光学平台

收发端机的功能是探测对方发来的信标光,确定信标光方位,给出误差信号使 ATP 系统校正接收天线的方位,完成双方光天线的粗对准。在天线已粗对准的情况下,探测对方发来的信号光,并利用信号光在 4 象限探测器上的坐标,提供方位误差信号给 ATP 单元完成双方天线的精对准和跟踪任务。探测对方发来的信号光,通过放大、解调等电处理,完成通信任务。

卫星激光通信系统是在自由空间中利用激光作为信息传输的载体。光束传播过程中发散角很小,所以光束的对准是十分困难,尤其是作为运动卫星间的光通信,完成收发光束的捕获、跟踪、瞄准就成为自由空间激光通信最关键的技术。以上所谈系统只是理论分析,对实际应用国内还有一段很长的路要走。

### 2. 关键技术

在卫星激光通信系统中要实现信号的发送接收,以及光束的精对准,通常都需要信标光与信号光来共同完成。信号在星间传输系统中有以下关键技术。

#### (1) 光信号的发射与接收

##### 1) 高功率光源及高码率调制技术

在激光通信系统中大多可以采用半导体激光器或半导体泵浦的 YAG 固体激光器作为信标光和信号光的光源,工作波长为 0.8- 1.5  $\mu\text{m}$  近红外波段。通常信标光的调制频率为几十赫兹至几千赫兹或几千赫兹至几十千赫兹,以便克服背景光的干扰。

##### 2) 高灵敏度抗干扰的光接收技术

在空间光通信系统中,接收的光信号通常都很微弱。此外,在高背景噪声场(如太阳光、月光、星光等)的干扰情况下,又加大了光信号接收的难度。快速、精确捕获目标和接收目标信号就是光、机、电结合的精密综合技术,也是空间激光通信的核心技术之一。一般采用两种方法削弱这种影响。

提高接收端机的灵敏度,最好达到 nW—pW 量级。

对所接收的信号进行统计处理,在光信道上采用窄带滤波器 干涉滤光片或原子滤光器,但由于通光频带较窄,对存在多普勒效应的光波滤光效果存在很大的缺陷) 以抑制背景杂散光的干扰,在电信道上采用微弱信号检测与处理技术。

##### 3) 精密、可靠、高增益的收发天线

为完成系统的双向互逆跟踪,光通信系统均采用收、发

合一的天线。由于半导体激光器光束质量一般比较差,要求天线增益要高,另外,为适应空间系统,天线(包括主副镜、合束、分束滤光片等光学元件)总体结构要紧凑、轻巧、稳定可靠。

### (2) 光束的捕获、对准、与跟踪

1) 捕获、对准过程:分别以 A, B 表示需建立光链路的两个终端

A 端机发出信标光,然后在不确定视场范围内进行扫描。B 端在 A 端扫描的同时采取跳步扫描的方式进行扫描,另一帧 B 端跳一步,凝视于另一角度。如果不确定视场不大,而 B 端的接收视场等于或大于不确定视场时,则 B 端不必进行扫描,只处于凝视等待状态。A 端信标光的光束在扫描过程中必然会落在 B 端的接收视场内,即 B 端必然会接收到 A 端的信标光。

当 B 端接收到 A 端的信标光后, B 端探测器输出的位置误差信号,经处理后送给万向支架控制器,驱动万向支架转动,从而对准 A 端。A 端收到 B 端的信标光,达到一定门限后,扫描停止。A 端探测器(CCD)输出位置误差信号,经处理后送给万向支架控制器,驱动万向支架转动,进一步对准 B 端。

A 端和 B 端进一步调整,从而达到捕获、对准的目的。光速的捕捉、对准与跟踪过程示意图如图 2 所示:

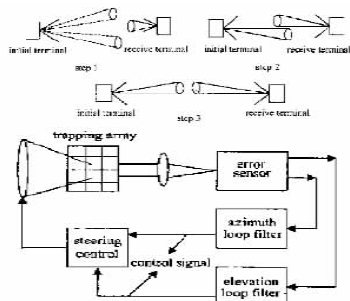


Fig.2 Sub-system block diagram of tracking

图2 光束的捕获、对准、与跟踪示意图

### 2) 目标跟踪

跟踪、瞄准系统是进行精跟踪,其功能是在完成了目标捕获后,对目标进行瞄准和实时跟踪。通常采用 4 象限红外探测器 QD 或 Q-APD 高灵敏度位置传感器来实现,并有相应电子伺服控制系统。

## 三、国内外发展状况

### 1. 卫星激光通信发展回顾

#### (1) 美国

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。美国国家航空和宇航局(NASA)的喷气推进实验室(JPL)早在 70 年代就一直进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。近几年来,空间激光链路研究已成为美国的研究热点,这将有助于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。

#### (2) 日本

日本是光通信技术发展很迅速的国家,日本与 80 年代中期开始空间光通信研究,主要有邮政省的通信研究室(CRL)、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。ETS-VI 和 OICETS 计划,是由他们提出的计划,这是两个十分引人注目的空间光通信研究计划。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 月成功地在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。

#### (3) 欧盟

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

多年的研究工作。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。

### (4) 国内情况

不论是美国、欧洲、还是日本对卫星光通信的研究都已经进入了空间实验阶段,而且很快就要发展到实用阶段。我国卫星光通信研究与美、欧、日相比起步较晚,目前国内只有少数几个单位,比如电子科技大学,哈尔滨工业大学等,武汉大学近年来也参与了卫星激光通信方面的研究,并取得了较大成果。)进行卫星光通信方面的研究工作,这些工作涉及到卫星光通信的基础技术及基本元器件的研究,以及关键技术的研究但离空间实验阶段还有相当一段距离。虽然我国在这方面的研究与国外的距离较大,但从现有国内器件及技术水平看,卫星光通信所需的技术基础已经具备,这与国外开展卫星光通信研究的初期情况不同,当时卫星光通信所需的主要元器件均不成熟,因此,国外卫星光通信方面的研究工作初期走了不少弯路。现在卫星光通信所需元器件已经比较成熟,我国的卫星光通信研究只要加大投资力度,一定会很快在关键技术方面得到突破,我国卫星光通信研究从开始到进行星上搭载实验的时间也会大大短于国外所花费的时间。

### 2. 卫星激光通信展望

近年来的商业需求和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。

## 四、结束语

对卫星激光通信关键技术,如信号收发、空间目标捕获、对准、跟踪)的研究在美、欧、日等国已开展了近 20 年,但是前些年由于受到元器件技术的限制发展较慢。在上世纪,进入 90 年代,随着元器件技术的成熟和发展而进入商业化发展阶段。特别是小卫星星座的迅猛发展,使得对小卫星星座的星间光通信更加重视。利用小卫星星间激光通信实现全球个人移动通信,已不是遥远的事情了。

我国自 20 世纪 70 年代开始激光通信的研究,取得了较满意的结果。国内若干科研机构开展了大气激光通信方面的学术和实验研究。我国虽然在此方面的研究工作开展较晚,但由于卫星光通信的元器件及技术已成熟,同时又有国外经验借鉴,如抓紧时间,定会在较短时间内赶上世界发达国家研究水平。因此,我国应该尽快投入人力物力,全面开展卫星光通信的研究工作。只有这样,我国才能在将来的全球卫星商业通信中处于领先地位。

### 参考文献:

- [1] Barry J.D. Beam Pointing Error as a Significant Design Parameter for Satellite-Borne, Free-Space Optical Communication Systems. Optical Engineering, 1985.27.
- [2] Shikatani M, Yoshikado S, Arimoto Y. Optic Inter-satellite Link Experiment between the Earth Station and ETS-VI. SPIE, 1990.
- [3] Hu Yu, Liu Hua. The technology of optical communication. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 1998.
- [4] Isen Nie, Pointing T.T. Acquisition and tracking system for the free space laser communication system[C]/SILEX Proc SPIE, 1996.
- [5] 皮德忠,尹道素.空间光通信 ATP 技术及进展.电子科技大学学报, 1998.
- [6] Lesh J.R. SPIE, 1995.
- [7] Lutz H.P. ESA bulletin- Optical Communication in Space, 1997.