

航天测控通信新体制研究

钱卫平

(北京跟踪与通信技术研究所)

摘要 提出了一种新的航天测控通信体制——激光统一系统的概念,分析了该体制的优劣势,介绍了国外发展现状,给出了激光统一系统的技术实现方法、应用方案构想和研究发展建议。

关键词 激光统一系统 激光通信 激光测距

中图分类号 V556 V553 **文献标识码** A **文章编号** 1674-5825(2009)01-0001-08

1 引言

高速信息传输技术和高精度轨道测量技术始终是航天工程中的重点发展方向,是航天测控系统与航天应用供求矛盾之焦点。由于激光的载波频率比射频信号高 4 个数量级,使得激光测量精度很高,激光通信可获得比射频通信高得多的信息传输速率,并具有抗干扰能力强,保密性好,链路终端体积小、重量轻、功耗低等优势,因此,激光测量通信技术在未来自来航天工程领域具有巨大的潜在效益和广阔的应用前景。正因如此,近年来空间激光通信技术和激光测量技术已成为航天测控通信技术领域发展的热点,各航天大国均投入了大量的人力和财力,并突破了主要关键技术,成功开展了演示验证试验,目前已开始向工程应用阶段迈进。

我国在空间激光通信领域还处于起步阶段,激光测量技术的优势尚未得到充分体现。为了适应我国未来自来航天测控通信技术发展的需求,提出了激光测量通信一体化的航天测控通信新体制——激光统一系统。本文简要介绍了激光统一系统的概念及其技术特点、国外发展现状及启示,给出了激光统一系统技术实现方法,分析了该体制的关键技术,并构想了该体制的应用方案和发展思路。

2 激光统一系统的概念及其技术特点

激光统一系统是指利用激光作为信息载体,实现对飞行器的外测、遥控、遥测、数据传输及钟差测量等多种功能的一体化系统。激光统一系统由地面站和天基终端两部分组成。地面站由捕获跟踪瞄准(ATP)分系统、上行信息发送分系统、下行信息检测分系统和操作控制分系统等部分组成。ATP 分系统主要用于对天基终端进行初始捕获、高精度跟踪瞄准与角位置测量、上行信号光及信标光发射、下行信号光及信标光接收。上行信息发送分系统将上行遥控指令、语音、图像等信息进行编码组成数据信息,并根据测距要求产生编码测距信息,然后,将数据信息与测距信息进行综合编码,形成综合上行信息;之后再综合上行信息调制到上行激光信号上,并通过 ATP 分系统中的信号光发射望远镜发射出去。下行信息检测分系统对下行激光信号进行探测、解调、解码,获取下行数据信息与测距信息,并将其送至操作控制分系统。操作控制分系统完成全系统的操作控制、测量结果计算、信息存储和对外数据交换,并提供高精度频率源和时统信号。天基终端的组成与地面站基本相同,主要功能包括:以上行信标光为基准,克服卫星平台的振动、姿态变化及相对运动的影响,完成对地面站的初始捕获跟踪与高精度瞄准;上

来稿日期:2009-03-23

作者简介:钱卫平(1963.04-),男,硕士,所长,研究员,载人航天工程测控通信系统总设计师,主要从事航天测控系统总体技术工作。

行信号光的探测、解调、解码,上行数据信息与测距信息的获取、输出;下行遥测、话音、图像、测量结果等数据信息与下行测距信息的综合编码、调制及信号光发射。

激光和射频信号均为电磁波,但激光比射频信号的频率高很多。常用的射频信号频率 S 波段为 $2 \times 10^9 \sim 4 \times 10^9 \text{Hz}$, X 波段为 $8 \times 10^9 \sim 1.2 \times 10^{10} \text{Hz}$, Ka 波段为 $2.7 \times 10^{10} \sim 4 \times 10^{10} \text{Hz}$, 常用的激光波长范围为 $532 \sim 1550 \text{nm}$, 对应的频率范围为 $1.9 \times 10^{14} \sim 5.6 \times 10^{14} \text{Hz}$, 可见,激光的频率比射频信号高 4~5 个数量级。极高的频率使得激光与射频信号相比在测量、信息传输方面具有如下优势:

(1) 传输速率高、容量大

激光信号的带宽资源更为丰富,若采用激光作为载体进行空间数据传输,将会获得比射频信号高得多的传输速率和传输容量。如我国第一代中继卫星采用微波通信技术,其信息传输速率为 300Mbps。空间激光通信技术尽管目前尚不成熟,但已做到的传输速率已远高于该值。如德国 TerraSAR-X 卫星与美国的 NFIRE 卫星在相距 5000km 条件下,已成功地实现了 5.5Gbps 的信息传输速率^[1]。

(2) 测量精度高

激光频率极高、脉冲宽度窄,可获得很高的时间分辨率,进而可得到更高的测距精度。目前人卫测距的精度很容易做到“厘米”量级,最高可达到“毫米”量级。高精度激光测距信息可用于航天器高精度测定轨。将测距信息和测角信息结合在一起,可实现对航天器的单站定位。

(3) 链路终端体积小、重量轻、功耗低

激光频率高,在发射天线(望远镜)口径很小的条件下即可得到极小的光束发散角(角秒量级):这一方面使得天线尺寸大大减小,从而降低终端的重量;同时,在相同的作用距离条件下,极小的光束发散角可大大降低对激光发射功率的要求,从而降低终端的功耗。如美国“旅行者”(Voyager)号深空航天器 X 波段天线口径 3.7m 通信终端,其自土星发射的衍射极限波束至地球时波斑直径为地球直径的 1000 倍;若采用激光通信,在望远镜口径为 0.1m 时,其自土星发射的衍射极限光束至地球时光斑直径仅为地球直径的 1 倍;在此条件下,若发射功率相同,到达地球的光斑功率密度是 X 波段的 10^6 倍。美国的研

究成果表明,航天器终端口径 0.3m、地面接收站口径 10m 的激光通信系统,其信息传输速率将远远高于航天器终端口径 4m、地面接收站口径 70m 的 X 波段通信系统^[2]。

(4) 保密性好、抗干扰能力强

极小的光束发散角使得激光载波信号几乎无法截获,具有极高的保密性。与极小的光束发散角相对应,其接收视场也极小,主动干扰也几乎不可能。

(5) 接收终端口径小、作用距离远

极小的发散角使得接收端可获得更高的信号灵敏度,有利于提高作用距离,同时在同样作用距离条件下,可降低对接收系统天线(望远镜)口径的要求。

尽管激光统一系统具有以上优点,但也有一些缺点:易受气象条件影响,难以做到全天候工作;易受天光地影的影响,难以做到全天时工作;光束发散角极小、捕获跟踪难度大。但是这些缺点都可以通过采取相应的技术措施予以解决。如:在气候相关度低的多点布置接收站,主动回避云雾遮挡影响。地面接收站采取杂光抑制和窄带滤光措施,降低天空背景光的影响。采用宽波束信标光、隔离减振、复合跟踪等技术实现可靠捕获、高精度跟踪瞄准。

3 激光测量通信技术国外发展现状及启示

激光统一系统这一新概念是在空间激光通信技术和激光测距技术的基础上提出的一种全新的测控体制。为此,下面介绍一下国外在激光通信和测距技术两方面的发展现状及启示。

3.1 国外空间激光通信技术发展现状

基于空间激光通信技术的各种优点和广泛的潜在应用前景,美国、日本、欧洲各国均对空间激光通信技术的研究和发展给予了极大的重视,投入了大量人力物力,制定了许多研究计划,开展了空间激光通信系统的研究开发。

3.1.1 美国空间激光通信技术发展现状

美国是世界上开展空间光通信研究最早的国家,自上世纪 70 年代,美国在卫星激光通信和深空激光通信两个领域均开展了大量的研究工作,为空间激光通信的发展奠定了雄厚的基础。

美国在卫星激光通信方面的研究工作经过了关键技术研究、地面试验研究、以及星间和星地空间激光通信演示验证试验等过程,已经实施了多个卫星

激光通信的研究计划,研制了多个卫星激光通信试验终端,如星间激光通信试验装置(LITE)、激光通信演示系统(OCD)、高速率国际空间站-地面激光通信终端项目、STRV-2 计划、GEOLITE 光通信试验等,目前正在进行工程应用系统——转型卫星通信系统(TSAT)的研发。

其中,GEOLITE 星地激光通信试验^[3]的成功是一个里程碑事件,标志着美国卫星光通信从演示验证试验阶段走向工程应用阶段。GEOLITE 卫星于 2001 年 5 月 18 日成功发射,并随后成功进行了星地和卫星到飞机的激光双向通信试验,传输速率为 Gbps 量级。目前正在研制的 TSAT 系统^[4]是由 5 颗卫星组成的卫星星座激光通信应用系统,可实现星-星和星-飞机 10~40Gbps 高码速率激光通信,用于天基和机载情报获取、侦察与监视系统的信息传输,卫星预计于 2018 年发射。

美国在深空激光通信方面也开展了多个研究项目,如 NASA 进行的 OPTRANSPAC 项目、X2000 飞行终端项目、火星激光通信演示系统(MLCD)等等。MLCD 项目^[5]启动于 2003 年中期,用于开展深空激光通信演示验证试验,其传输速率为 1~30Mbps。飞行终端原计划搭载于火星通信卫星(MTO)上,于 2009 年 10 月份发射,由于 NASA 规划的调整,2006 年终止了 MLCD 项目。

3.1.2 欧洲空间激光通信技术发展现状

欧洲空间激光通信技术主要集中在卫星激光通信方面,开展了大量的研究和演示验证工作,取得了令人瞩目的成就,目前已开始进行工程应用系统的开发。在众多的研究项目中,欧空局(ESA)的 SILEX 计划^[6]规模最为庞大,最具代表性。该计划始于 20 世纪 80 年代,其目的是通过法国对地观测卫星 SPOT4 与中继卫星 ARTEMIS 之间的光学链路,验证星间激光通信的可行性,同时实现 ARTEMIS 卫星与欧洲光学地面站的激光通信。2001 年底顺利建立了激光通信链路,实现了 50Mbps 速率的激光通信试验。这是世界上首次成功开展星间激光链路试验,是卫星激光通信领域一项里程碑式的进展。其后又成功进行了地球同步轨道卫星到地面及飞机的激光通信试验。

随着技术的不断进展,ESA 开始发展新型卫星激光通信系统。其中比较成功的是德国航天中心

(DLR)与 ESA 进行的 LCTSX 项目^[7]。该项目在德国新研的合成孔径雷达卫星 TerraSAR-X 上搭载的激光通信终端采用相干光探测体制,可以进行星间激光通信和星地激光通信。2008 年 3 月 12 日,TerraSAR-X 卫星与相距 5000km 的美国 NFIRE 卫星之间实现了码速率为 5.5Gbps 的激光通信试验。这次试验表明,ESA 在相干探测高码速率激光通信技术领域处于国际领先地位,已经可以进行工程应用。

目前正在开展 Alphasat 宽带数据中继卫星光通信工程应用项目的研发^[8]。该项目在 Alphasat 中继卫星上搭载 Tesat 公司的 TerraSAR-X 光通信终端和 Contraves Space 公司的 OPTEL 终端,实现 Alphasat 卫星与低轨侦察卫星之间 2Gbps 的在轨激光通信。Alphasat 中继卫星计划 2011 年发射。

3.1.3 日本空间激光通信技术发展现状

日本在空间激光通信领域也开展了大量的研究工作。最具代表性的是通信研究实验室开发的工程试验卫星 ETS-VI 激光通信终端^[9]和日本国家空间局的 OICETS 项目^[10]。ETS-VI 激光通信终端于 1995 年成功与美国的 TMF 地基望远镜进行了星-地激光通信演示试验(GOLD)。尽管此次试验的码速率仅为 1.024Mbps,但该试验的成功证明了星地间激光通信的可行性。OICETS 为专门的激光通信试验卫星,其激光通信终端 LUCE 采用直接强度调制,通信速率为 50Mbps。OICETS 于 2005 年 8 月发射升空,同年 12 月与 ESA 的 ARTEMIS 卫星进行了星间激光通信试验,2006 年 3 月与日本国家信息通信技术研究所光学地面站成功进行了双向激光通信试验,2006 年 6 月与德国宇航中心移动光学地面站之间实现了激光通信。上述试验的成功表明,日本的卫星激光通信技术已经获得极大成功。

目前正在研制的下一代低地球轨道卫星系统(NeLS)为光通信应用项目^[11],其目标是开发全球多媒体移动卫星通信服务。两颗小卫星 SmartSat-1a 和 SmartSat-1b 卫星计划于未来两年发射,此后进行星间和星地激光通信实验,码速率 2.4Gbps。

3.2 国外激光测距技术发展现状

传统的卫星激光测距(SLR)均采用反射式测距体制。经过几十年的发展,SLR 目前已建立了由 50 多台设备组成的庞大的全球激光测距网络,已实现对 60 多颗带有合作目标的各种地球轨道卫星的测

距。测距精度从最初的米级提高到分米级、厘米级，现在正向毫米级发展。测距重复频率由低重频（5~20Hz）向高重频（1~10kHz）发展。

为了进一步提高激光测距的作用距离，近年来又提出应答测距体制，并开展了演示试验。2005 年 5 月 27 至 31 日，美国 NASA 的哥达德飞行中心（GSFC）与距离 2.4×10^7 km 的水星飞行器 Messenger 成功地进行了激光应答测距试验^[12]。2005 年 9 月，美国火星探测器上的激光测高仪（MOLA）记录到从 NASA/GSFC 发射的约 500 个激光脉冲，当时的距离为 8×10^7 km^[13]。

3.3 国外发展情况启示

根据国外激光测距和通信技术的发展情况，可以得出如下几点启示：

(1) 把工作重点放在地球轨道航天器应用领域

地球轨道航天器对激光测量通信技术的需求最为迫切，技术实现相对容易，取得的效益更为明显，因此，国外均把工作重点放于此，并取得了巨大成功。目前美国、日本、欧洲均已进入工程应用系统的研发。

(2) ATP 技术是激光链路成败之关键

由于激光发散角极小，且天基平台存在较强的姿态抖动和摆动，致使双端的 ATP 技术难度极大。因此，ATP 技术是决定激光链路成败的最为关键的环节，必须充分重视，要在地面充分试验的基础上，及时开展天地演示验证试验。美国的 STRV-2 项目就是因为 ATP 技术问题导致失败。

(3) 积极探索调制探测新技术，提高信息传输码速率

高码速率是激光链路的最大优势，因此，如何提高信息传输速率将始终是着力攻关的难题和焦点。国外的经验表明，调制与探测体制是提高码速率的关键，如德国采用 BPSK 调制/相干探测体制，得到比 OOK 调制/直接探测体制高得多的码速率。可见，为了提高激光通信速率，需要对调制和探测体制研究。

(4) 激光应答测距及其与通信一体化技术初现端倪

利用应答测距技术实现远距离测量是激光测距领域的一个新热点，与激光通信一体化的思想处于萌芽状态，如美国在 X2000 项目中首次提出了回波应答测距与激光通信一体化的设想^[14]。

4 激光统一系统实现方法

激光统一系统的核心技术是如何实现激光测距与激光通信的一体化。目前设想了 3 种一体化实现方法，这些方法将测距信息与数据信息有机的结合在一起，在信息层面实现了激光测距与激光通信的一体化。

4.1 激光编码信号回波应答测距实现方法

该方法将测距信息与需要传输的数据信息按照规定的格式组合在一起，进行综合编码，给出需要调制、传输的激光链路综合信息，然后以激光链路综合信息所包含的测距标志信息作为载体进行回波应答测距。测距信息、数据信息和综合信息均由长度相同的帧组成信息序列，每帧由帧头和帧尾组成，其具体构成如表 1 所示。测距信息分为测距帧和非测距

表 1 信息帧结构

信息类别		段别	
		帧头	信息段
数据信息		XX...X	000 数据信息
测距信息	测距帧	XX...X	111 000...000
	非测距帧	XX...X	000 000...000
综合信息	测距帧	XX...X	111 数据信息
	非测距帧	XX...X	000 数据信息

帧两类，测距帧的信息段前 3 位填测距标志“111”，其余位填“0”，“非测距帧”全部置“0”。数据信息的信息段前 3 位填“0”，其余位为数据信息。测距信息与数据信息叠加得到综合信息帧。地面站数据信息主要包括遥控指令、上行话音与图像等信息，天基终端数据信息主要包括遥测信息、下行话音与图像信息以及有效载荷测量信息。各种数据信息采用时分复用方式，按照规定的格式进行编排。地面站根据测距频率要求产生周期性的测距信息，对应一个“测距帧”，主波取样信号以该帧最后一位的下降沿为准产生开门信号。天基终端对接收的上行信号进行解调、解码，识别出测距帧，并在该帧最后一位的下降沿产生触发脉冲；该触发脉冲控制下行测距信息在当前帧的下一帧产生“测距帧”标志，控制后续下行数据信息延迟 2 帧传输，并在该触发脉冲后 1.5 帧周期时向测距信息中插入特殊的测距码串。这样可以确保

测距信息实时插入并保证数据信息不丢失、不重复。地面站接收系统的光电探测信号通过测距码相关知识识别输出测距码自相关波形,其最高点作为测距事件计时器的关门信号;地面站事件计时器通过精确测量开门信号和关门信号之间的时间间隔,并扣除回路固定时延,即可得到测距信息往返传输时间,进而可给出天基终端与地面站之间的距离。

4.2 激光编码信号异步应答测距实现方法

该方法以激光链路综合信息所包含的测距信息作为载体进行异步应答测距。地面站和天基终端分别由其本地时钟控制,根据测距频率要求各自独立地生成周期性测距信息,并与其数据信息综合形成激光链路综合信息,信息格式及产生过程同上。双端分别测量本地“测距帧”末位下降沿出发时刻(t_{E1} 、 t_{M1})、对方“测距帧”末位下降沿到达时刻(t_{E2} 、 t_{M2})及其与本地“测距帧”末位下降沿出发时刻之间的时间间隔($t_{E2}-t_{E1}$ 、 $t_{M2}-t_{M1}$),天基终端将其测量结果通过激光链路送给地面站,地面站即可利用以下公式得到地面站与天基终端之间的距离、该距离对应的时间和两端的绝对钟差。

$$R = \frac{c}{2} [(t_{E2} - t_{E1}) + (t_{M2} - t_{M1})] \quad (1)$$

$$t = \frac{1}{2} (t_{E1} + t_{E2}) \quad (2)$$

$$\Delta t = \frac{[(t_{E2} - t_{E1}) + (t_{M2} - t_{M1})]}{2 + \frac{R}{c}} + (t_{E1} - t_{M1}) \quad (3)$$

式中, c 为光速。

4.3 激光链路码元计数测距实现方法

该方法通过对激光链路信号的码元计数实现测距,其原理如图 1 所示。上行信号本质上相当一把以码元宽度为基本刻度的“卷尺”,该“卷尺”以光速由地面站向航天器方向“伸展”。下行信号测距帧相当于“观测者”,该“观测者”以光速由天基终端向地面站移动。“观测者”从天基终端出发时,对上行信号进行采样,测量“卷尺”到达天基终端的码元数 N_1 和对应本地时间 t_1 ,并将测量结果传送给地面站;“观测者”到达地面站时,再对上行信号进行采样,测量“卷尺”此时离开地面站的码元数 N_2 和对应本地时间 t_2 ;则航天器与地面站之间的距离和两端的钟差可由下两式给出:

$$R = \frac{1}{2} c \tau (N_2 - N_1) \quad (4)$$

$$\Delta t = (t_1 - t_2) + \frac{\tau}{2} (N_2 - N_1) \quad (5)$$

式中, τ 为码元时间宽度。

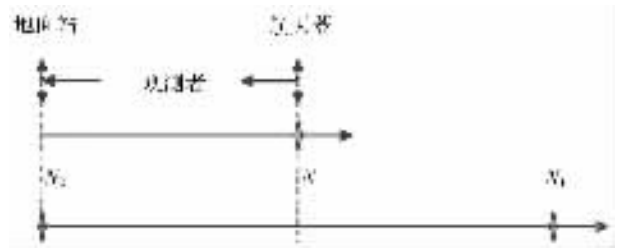


图 1 激光通信码元计数测距原理示意图

该方法中,下行链路信息的格式及产生方法同 3.1 节所述。上行链路信息的格式需要认真研究后确定。初步设想帧头之后前 16 位为帧计数位,其最大计数值为 65536,1 帧的时间宽度为 $125\mu\text{s}$,则对应最大无模糊距离为 $1.2288 \times 10^6 \text{ km}$,可满足地球轨道航天器和探月航天活动的需求。若信息传输速率为 1Gbps,则 1 帧内最大位计数为 125000。

根据上述测距原理及信息格式,测距实现方法如下:两端均实时读取每一帧的帧计数值,并从上一帧下降沿开始进行位计数;当下行“测距帧”标志识别出来后,在该帧的末位下降沿产生触发信号,控制读取缓存器中的帧计数值和位计数值;天基终端将其帧计数值和位计数值置于下帧送给地面站,地面站综合两端的帧计数值和位计数值即可得到距离及钟差测量值。

5 激光统一系统关键技术

激光统一系统的主要潜在应用对象包括有高速信息传输需求的地球轨道航天器和深空航天器。综合考虑两种应用的长远发展需求,激光统一系统需要解决的关键技术如下:

(1) 激光统一系统顶层设计论证

根据我国航天工程的长远发展规划,对激光统一系统进行需求分析;从工程应用需求出发,综合分析比较激光测量通信技术的优劣势,找准激光统一系统的应用方向和领域;根据确定的应用方向和领域,对激光统一系统体系方案进行总体论证和顶层设计,给出优化的体系建设总体方案;根据体系建设

总体方案和国内技术水平,确定具体的研究发展规划和实施方案。

(2)接收系统总体方案论证

接收系统方案是体系建设总体方案的基础,也是决定全系统能否实现全天候、全天时工作的关键环节,因此,必须站在总体高度,对其方案进行深入论证。

对地球轨道航天器应用系统而言,可通过用户星与中继星星间链路解决全时段覆盖问题,但中继星与地面之间是采用大三角布站、还是采用临近空间平台转发,应进行深入论证。

对深空应用系统,有多种链路结构可供选择:其一,深空航天器与多地面站直接建立激光双向链路;其二,深空航天器先与中继星建立激光链路,然后由中继星与地面建立星地射频链路;其三,深空航天器先与临近空间平台建立激光链路,然后由临近空间平台与地面建立射频链路。上述三种方案各有优缺点,必须进行深入的论证和比较分析。

(3)基于天基平台高精度 ATP 技术研究

如前所述,天基终端的 ATP 技术是最具挑战性的技术难题,是成功建立激光链路最为关键的环节。为了解决这一技术难题,需要突破如下关键技术:基于天基平台的隔离减震、跟踪架高精度定向技术与工程实现;根据天基与地基坐标系转换关系研究引导捕获方法,并研究快速扫描捕获具体实施方案;基于快速倾斜镜复合跟踪的高精度跟踪瞄准和提前角修正技术与工程实现。

(4)高精度测距与高速信息传输一体化技术研究

激光测量通信一体化的主要难点体现在如何将测距信息与高码速率数据信息有机地组合在一起,如何对测距信息进行识别,如何利用这些信息实现高精度测距。前面已给出了 3 种一体化实现方法,此后要对这 3 种方法进行工程实现、研制试验样机、开展试验研究,另外,还要对其信息格式进行研究。

(5)高速信息传输技术研究

随着技术的发展,航天应用对信息传输速率要求会越来越高,因此,如何提高信息传输速率将始终是着力攻关的难题。目前,激光信息传输技术尚处于起步阶段,其信息传输速率离其理论极限还很远,还有很大的潜力可挖,因此,如何提高激光链路的速率将是未来研究工作的热点。为了进一步提高激光链

路的速率,需要对调制和探测体制进行创新,需要攻克一系列关键技术。

(6)地面接收设备技术研究

对深空行星探测应用系统而言,由于两端之间的距离甚远,地面光信号的探测极其困难。根据美国的研究结论,若采用地面接收方案,有两种方案可供选择:其一,采用口径 10m 的非衍射极限望远镜接收;其二,采用口径相对较小的多台望远镜进行组阵,以等效 10m 望远镜的接收效果(如用 16 台口径 2.5m 望远镜可等效 1 台 10m 望远镜)。如果建设深空行星探测地面接收系统,采用何种方案需要深入研究,同时,还要研究所选择方案的工程实现问题。

(7)基础器件研究

开展激光统一系统应用研究,必须突破激光器、探测器、调制器、滤光片等关键基础器件技术。激光器不仅要满足波长、功率、功率稳定性、寿命等要求,还要尽量减小体积、重量和功耗。探测器要同时满足高灵敏度、低噪声和快速响应要求,并具有较大的光敏面,以保证大口径长焦距条件下具有足够大的接收视场。调制器要满足不断提高的码速率要求。滤光片要求其带宽极窄,用于最大限度地抑制背景光的影响。对上述关键器件的要求均极其严格,普通的器件难以满足要求,必须针对应用需求研制出性能良好的专用器件。

(8)大气传输效应及解决方法研究

大气湍流效应将会使光信号出现明显的闪烁效应,严重影响光信号质量,进而影响信号探测。为此,必须通过试验弄清激光的大气传输效应及其影响,并研究出切实可行的解决方案。

(9)激光统一系统总体集成技术研究

以航天工程应用需求为牵引,以关键技术研究成果为基础,开展激光统一系统总体集成技术研究,其主要研究内容包括:天基终端总体技术方案论证;地基接收系统总体技术方案论证;试验样机研制方案论证;激光测量与信息传输一体化信息格式研究;演示验证试验与评估方案论证等。

6 激光统一系统航天应用方案构想

激光统一系统的主要优势是其信息传输速率高、测量精度高,据此,其应用场合主要包括光学成

像侦察卫星、测绘卫星、电子侦察卫星、资源遥感卫星、导弹预警卫星、气象卫星、中继卫星等地球轨道航天器和深空遥感任务。其应用方案应充分考虑上述应用系统的特点,并着力考虑其易受云雾影响这一劣势。

6.1 地球轨道航天器应用方案构想

对 GEO 航天器,由于航天器轨道高度高,地球球面相对于航天器的张角较小(约 17.9°),与航天器通视的地面区域范围广,可以通过在相隔距离远、天气相关度低的多个点(3~4 点)布置地面接收站网络的方案来回避云雾遮挡问题,从而克服天气的影响。

中低轨航天器与地面之间的激光链路难以回避云层的遮挡,无法做到全天候工作;同时,由于受地球曲率的影响,单个地面站对中低轨航天器的覆盖范围也十分有限,需要全球布置大量的地面站方能实现完全覆盖。因此,中低轨卫星需要利用 GEO 卫星中转,之后与地面站之间建立激光链路。

对由 GEO 卫星和中低轨卫星组成的卫星星座系统,可单独建设其自成一体的专用激光统一系统,其系统的星地链路在与国土通视的 GEO 卫星和国内多个地面站之间建立,星间链路在该 GEO 卫星与本星座卫星系统卫星之间建立(链路结构示意图如图 2 中所示)。

对非卫星星座系统的中低轨卫星、或与国土不通视的 GEO 卫星,可建立一通用的激光统一系统。系统的星地链路在中继卫星与国内多个地面站之间建立,星间链路在中继卫星与业务卫星之间建立。与国土通视的非星座 GEO 卫星,可直接与通用激光统一系统的地面站建立星地链路。通用激光统一系统的链路结构示意图也在图 2 中给出。

6.2 深空探测航天器应用方案构想

深空探测航天器应用有两种可选方案:其一,在深空航天器与中继卫星之间采用激光统一系统建立远距离高速信息链路,中继卫星与地面仍采用射频技术,可解决全天候工作问题;其二,在深空航天器与地面之间直接建立激光链路,可通过在全球相隔距离远、天气相关度低的多个点(6~9 点)布置地面接收站网络来回避云雾遮挡和地球遮挡问题,从而做到全天候、全天时激光链路连接。两种方案的链路结构示意图如图 2 中所示。美国科学家经过比较分析,认为方案二比方案一更具优势。他们还研究给出

了由 8 个地面站站构成的接收系统体系结构,其全球布局图如图 3 所示^[15]。

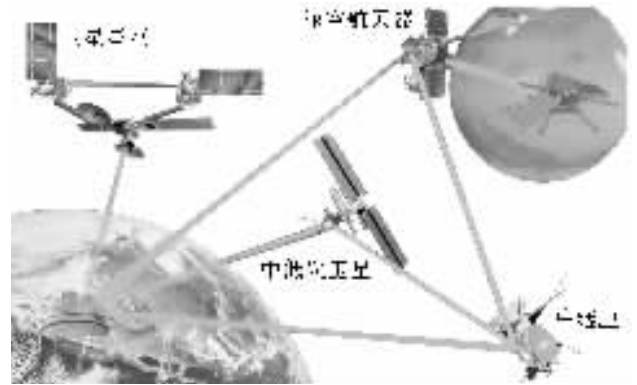


图 2 激光统一系统典型链路结构示意图



图 3 深空探测激光统一系统地面站全球布站示意图

深空链路地面接收站可采用大口径单望远镜方案,也可采用望远镜阵列方案。无论那种方案,均存在技术难度大、成本高的问题,同时还要求全球布站,因此,采用第二种方案建立深空地面接收系统时,必须走国际合作之路。

7 激光统一系统研究发展建议

激光统一系统在未来航天工程中具有巨大的潜在应用价值和广阔的应用前景,应尽快开展有关研究工作,建议长远研发工作分“六步”进行。

第一步:突破基于天基平台高精度捕获跟踪瞄准技术、高速信息传输技术、高精度测距与高速信息传输一体化技术等核心关键技术;

第二步:研制原理试验样机,开展地面演示试验和基于空基平台(如飞艇)的演示验证试验;

第三步:结合载人航天工程,研制地面接收系统和天基演示试验终端,在空间实验室天基平台上搭载,开展天地演示验证试验;

第四步:建立一套由星间、星地链路组成的通用应用系统,开展应用示范和试验研究;

第五步:结合探月三期工程开展月地激光链路演示验证试验,在此基础上建立月地激光统一应用系统。

第六步:突破行星际激光通信关键技术,开展深空激光统一系统演示验证试验和应用研究。◇

参 考 文 献

- [1] http://www.spacemart.com/reports/TerraSAR_X_And_NFIRE_Fire_Up_The_Pipe_With_lase_Data_Transfer_999.html.
- [2] Hemmati Hamid. Deep Space Optical Communications [M]. New Jersey, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2006.
- [3] http://www.nro.gov/PressReleases/prs_rel62.html.
- [4] http://www.deagel.com/C31STAR-Satellites/TSAT_a000168001.aspx.
- [5] Biswas A, Boroson D, Edwards B. Mars Laser Communication Demonstration: What it would have been [C]. Proc. of SPIE, 2006, Vol. 6105: 1-12
- [6] Tolker-NieIsen Toni, Oppenhaeuser Gotthard. In Orbit Test Result of an Operational Optical Intersatellite Link between ARTEMIS and SPOT4, SILEX [C]. Proc. of SPIE, 2002, Vol. 4635: 1-15.
- [7] Lange Robert, Sumutny Berry. Homodyne BPSK-based optical inter-satellite communication links [C]. Proc. of SPIE, 2007, Vol. 6457: 1-9.
- [8] Toyoshima Morio. Trends of research and development of optical space communications technology [R]. 2006. <http://sitcom.nict.go.jp/English/e-44/reporte2.pdf>.
- [9] Yoshinori Arimoto, Mono Toyoshima, et al. Preliminary result on laser communication experiment using ETS-VI [C]. Proc. of SPIE, 1995, Vol. 2381
- [10] Jono Takashi, Takayama Yoshihisa, Shiratama Koichi et al. Overview of the inter-orbit and orbit-to-ground laser communication demonstration by OICETS [C]. Proc. of SPIE, 2007, Vol. 6457: 1-10.
- [11] Koyama Y, Morikawaa E, Shiratama K, et al. Optical terminal for NeLS in-orbit demonstration [C]. Proc. of SPIE, 2004, Vol. 5338: 29-36.
- [12] Smith David E, Zuber Maria T, Xiaoli Sun, et al. Two-Way Laser Link over Interplanetary Distance [J]. Science, 6 January 2006: Vol. 311
- [13] Neumann G A, Cavanaugh J F. Laser Ranging at Interplanetary Distances [C]. Proceedings of the 15th International Workshop on Laser Ranging, October 2006: 451-456
- [14] Hemmati Hamid, Lesh James R. Laser Communications Terminal for the X2000 Series of Planetary Missions [C]. Proc. of SPIE, 1998, Vol. 3266: 171-177.
- [15] Wilson K E, Wright M, Cesarone R, et al. Cost and Performance Comparison of an Earth-Orbiting Optical Communication Relay Transceiver and a Ground-Based Optical Receiver Subnet [R]. 2003.5. http://ipn.jpl.nasa.gov/ipn/progress_report/42-153/153B.pdf.

The Research of a Novel Aerospace TT&C System

QIAN Weiping

(Beijing Institute of Tracking and Telecommunication Technology)

Abstract: The concept of a novel aerospace TT&C system named Unified Laser TT&C System is given, and its advantages and disadvantages are analyzed. Developments of space laser communication and laser ranging are introduced. The realized and applied schemes of Unified Laser TT&C System are provided. Steps of the R&D are suggested.

Keywords: Unified Laser TT&C System; Laser Communication; Laser Ranging

简 讯

2009年4月24日下午,《载人航天》新一届编委会第一次会议在京召开。会议由中国载人航天工程办公室主任兼编委会主任王文宝主持,921工程总师兼编委会副主任、主编周建平,921工程副总师兼副主编宿双宁,921工程空间应用系统总师、中国科学院院士兼副主编顾逸东,以及编委会成员近40人出席了会议。

会上,宣布了《载人航天》期刊编委会组成,发放了编委聘书;编辑部简要汇报了期刊编办情况及下一步工作初步考虑。与会编委审议了编委会章程、期刊栏目设置,并对期刊国内公开发行业编办工作进行了研讨,提出了许多既有普遍性、又有针对性的建议。

周建平总师、王文宝主任做了重要讲话。