

# 欧洲卫星间光通信发展现状\*

刘 华\*\* 胡 渝

(电子科技大学应用物理所, 成都, 610054)

**【摘要】** 介绍了欧洲航天署 (ESA) 在卫星间激光通信领域的历史、现状和未来, 并给出了近年来 ESA 最大的投资项目——SILEX 系统的具体规划、实施和研究进程。最后, 还简述了 ESA 近年来的一些有关卫星间激光通信的关键元器件和系统技术的研制和发展计划。

**关键词** 卫星间光通信; 激光器; 激光通信

**中图分类号** TN204

激光通信系统具有体积小, 重量轻, 功耗小等优点, 而这些正是空间技术所要求的重要指标。因此, 欧洲航天署 (ESA) 从 1997 年起便开始光波段的卫星间激光通信技术的研究。早期, 欧洲航天署确立了两个研究项目——基础技术研究 (TRP) 和高级系统技术 (ASTR), 进行了大量的基础性概念研究和预研性系统研究工作。其中, TRP 由各个成员国自己承担, ASTR 由特定的成员国承担。

从 80 年代后期开始, 欧洲航天署确立了一项宏伟的研究计划——SILEX (Semiconductor Laser Intersatellite Link Experiment) 系统研制计划, 即在两颗卫星间建立实验性激光通信链路, 其主要目的是在实验和预研的水平上, 研制并验证所有有关卫星间激光通信的单元和子系统。由于 SILEX 系统的复杂性和所需资金十分庞大, 它是欧洲航天署在光通信技术研究中的最主要项目。同时, 欧洲航天署的其他相关技术的研究也在继续, 例如高级通信系统的概念研究。尽管由于非技术上的原因而使得 SILEX 计划推迟实施, 其设计者宣称已经可以设计出比第一代 SILEX 更小型, 更高效, 成本更低的新一代实用化卫星间光通信端机。

## 1 SILEX 系统

SILEX 系统的目的是在两颗卫星之间建立光频段的双向数据传输链路。它实际上是准运行级欧洲数据延迟系统的一个单元, 该数据延迟系统是在一个地球同步卫星和一个低轨飞行卫星之间进行数据交换。SILEX 系统包括两个飞行级的光终端, 其中高轨道终端将载于欧洲航天署的 ARTEMIS 同步卫星上, 低轨道终端将载于法国的地球观测卫星 SPOT4 上。

SILEX 系统将从 SPOT4 上的低轨终端向 ARTEMIS 上的同步轨道终端传输 50 Mbps 的数据, 同时, 在 ARTEMIS 上还装备有一个定位装置, 可使其系统上的望远镜 (亦即光学天线) 对准 SPOT4 或其他任何轨道高度大于 1 000 km 的 LEO (近地轨道) 空间飞行器, 并向 GEO (同步轨道) 终端传送 2 Mbps 的数据。计划中, ARTEMIS 还将与日本的 LEO 卫星 OICETS 进行激光通信实验, 合同于 1993 年签定。

LEO 终端的光源和 GEO 终端的光源选用 Spectra Diode Labs 的 SDL5410/5420 半导体激光器, 波长分别为 847 nm 和 819 nm。另外, GEO 终端上还装有一个波长为 801 nm 的信标光, 它的作用是用于终端搜索。双向通信信号的调制为直接强度调制, 即通过用数字信号开关控制半导体激光器的光功率的方法来进行调制, 信标光不进行调制。用于通信的激光器的平均输出功率为 60 mW (最大可达 120 mW), 信标激光器的平均输出功率为 700 mW (最大可达 1 200 mW),

1998 年 7 月 6 日收稿

\*国家科委 863 高科技项目, 基金号: 863. 31. 5. 2

\*\*男 27 岁博士

其中, 信标光由19只700 mW的半导体激光器组成。用于通信信号接收的探测器为EG & G生产的SLIK雪崩二极管, 其灵敏度在通信码率为50 Mbps, 误码率为 $10^{-6}$ 时是-59 dBm。用于搜索和跟踪的探测器分别为 $384 \times 288$ 和 $14 \times 14$ 的CCD阵列。

两台端机上的光学天线的口径均为25 cm。信标光束的发散角为 $750 \mu\text{rad}$ , 它们的搜索范围为 $7000 \mu\text{rad}$ , 比搜索用CCD阵列的视场角略小。LEO上的信号光束的发散角为 $10 \mu\text{rad}$ , GEO上的信号光束的发散角为 $16 \mu\text{rad}$ 。

设计SILEX系统时, 考虑了这样一种功能, 即GEO终端可轮换着与两个不同的LEO空间飞行器建立通信链路。为了节约时间, 通常从一个空间飞行器转到另一个飞行器的时间(即GEO终端与第一个LEO空间飞行器通信完备后, 直到搜索到第二个飞行器, 并定位到可以建立通信为止的这样一段时间)不得超过150 s, 成功的可能性超过97%。

表1为SILEX系统的主要参数和元器件列表。

表1 SILEX系统的主要参数和元器件列表

项 目	指 标
传输距离	45 000km
通信码率	SPOT4 (LEO) → ARTRMIS (GEO): 50Mbps ARTEMIS (GEO) → SPOT4 (LEO): 2Mbps
通信性能	搜索时间: < 4min 误 码 率: < $10^{-6}$ 可 通 率: > 95%
定位精度	< $2' \text{rad}$
光 源	信 号 光: 60mW 信 标 光: 700mW, 由19只组成 波长范围: 797 ~ 853nm
探 测 器	通 信: SLIK 雪崩二极管 搜 索: $384 \times 288$ CCD 阵列 跟 踪: $14 \times 14$ CCD 阵列
光束发散角	信 号 光: $10 \sim 16 \mu\text{rad}$ 信 标 光: $750 \mu\text{rad}$
天线口径	250mm
功 耗	约 160W (全开通)

如图1所示为载于同步轨道卫星ARTEMIS上的光端机的功能结构示意图。下面简述SILEX系统的日程安排和主要任务。

欧洲航天署于1996年夏天在Canary岛上建立了一个光学地面站, 已于1997年中期投入运行。它与LEO光学终端很相似, 只不过其光学天线口径为1 m。这个地面站将用来验证载于ARTEMIS卫星上的GEO终端的性能。运载卫星的发射比原计划有所推迟, 其中, SPOT4在1998年2月进入轨道, 而ARTEMIS将于2000年2月由日本的H2A型火箭发射升空。日本的OICETS卫星将于2000年夏天投入运行。

根据以上日程安排, 欧洲航天署将逐步进行许多相关的阶段实验和总体实验。这些实验主要包括:

1) 在没有GEO终端时, LEO终端的各项测试。包括与载体卫星的兼容性、数据交换热控运行等性能验证, 同时LEO卫星SPOT4还将摄取地球照片, 以便验证SILEX系统的定位误差

对这些照片的质量的影响。实际上, SPOT4 的主要任务便是观测地球。

2) 在没有 LEO 终端时, GEO 终端的各项测试。包括 SILEX 系统与其他运载物和子系统的兼容性测试, 以及随后与 Belgium 的 Ardennes 山上的无线电地面站和 Canary 岛上的光学地面站之间的功能和性能验证。

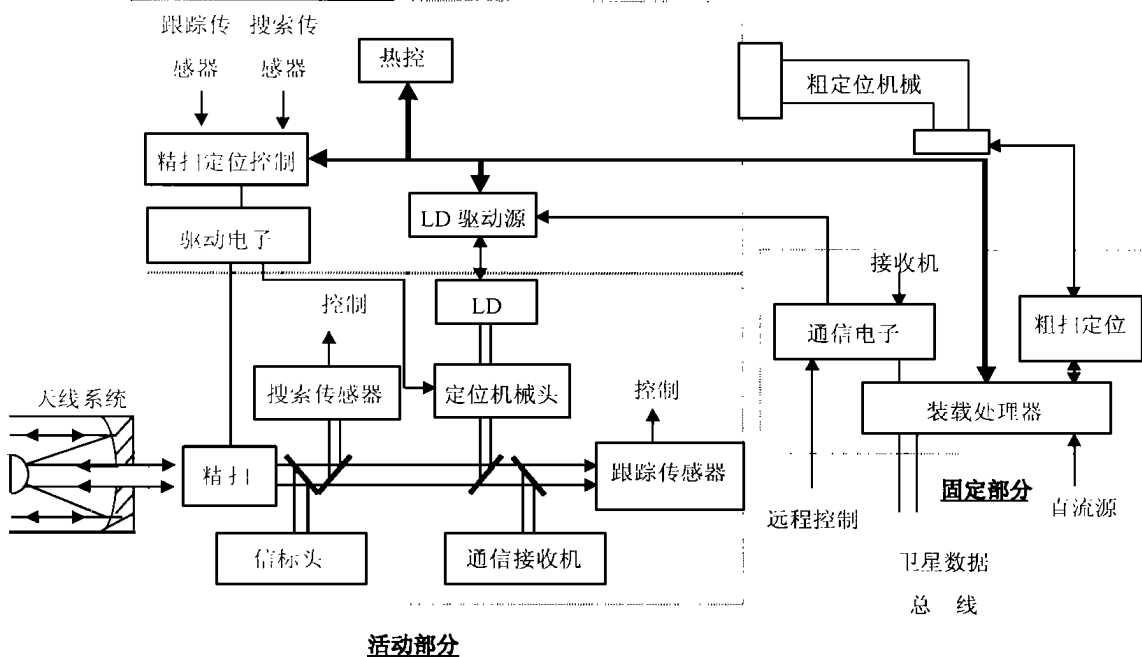


图 1 GEO 光端机的功能结构示意图

3) 到 2000 年中期, 当 SPOT4 和 ARTEMIS 都已进入轨道并完成各自独立的阶段实验后, 将进行卫星之间的光通信实验。通过实验, 将验证端机的搜索和跟踪性能, 以及优化运行程序和系统参数(光功率, 信标扫描模式等)的设定。实验的最后还将建立一套加固程序, 以便当用户需要时, 随时可以安全地运行。

4) 根据欧洲航天署 (ESA) 与日本宇航发展局 (NASDA) 于 1993 年达成的一项协议, 载于 ARTEMIS 上的 GEO 端机将与日本的 LEO 卫星 OICETS 上的光端机 (LUCE—Laser Utilizing Communications Experiments) 进行光通信实验。

## 2 其他高级激光系统和关键技术

对于未来的卫星间激光通信而言, 要求同步轨道上的光终端机利用几个近地轨道飞行器上的光端机向地面站传输数据。这样, LEO 终端的重量、体积和耐用度就成了激光通信与传统的无线电通信竞争的主要指标。鉴于此, 欧洲航天署从 1989 年就开始了所谓的高级激光通信系统和关键技术的研究, 主要是为了解决以下几个问题:

- 1) 高数据率的通信系统所需的高功率激光器;
- 2) 10~15 cm 口径的光学天线;
- 3) 小型活动终端;
- 4) 光机部件的微型化和组件化 (应用光纤和微光学等技术)。

以上研究中, 已经完成的有 1W 量级的单频连续波 Nd: YAG 固体激光器、单镜双轴精定位组件、帧频超过 10 kHz 的搜索和跟踪系统组件, 其他的可用两个具代表性的系统研究来说明: 200~500 Mbps 的高级激光通信端机 (ALCT—Advanced Laser Communication Terminal) 和 2~10 Mbps 小型光通信用户端机 (SOUT—Small Optical User Terminal)。下面分别予以简介。

1) ALCT 系统 该系统传输码率为 250 Mbps, 天线口径为 10 cm, 系统总重量为 58 kg, 光源为半导体激光泵浦的 Nd: YAG 激光器, 在 GEO 端采用相干探测方式。其主要特点是采用了光纤耦合技术, 因而光机结构十分紧凑。

2) SOUT 系统 该系统传输码率为 2~10 Mbps, 天线口径为 7 cm, 光源与 SILEX 系统的兼容。特点是采用了主动隔振装置以降低定位精度要求, 从而大大减小了跟踪带宽。

同时, 欧洲航天署 (ESA) 还在进行一些系统、单元器件和单元技术的概念研究, 主要有:

1) 500 Mbps 的相干光接收机, 其误码率小于  $10^{-6}$ ; 2) 光纤耦合光学平台, 其特点是发射激光束的发散角达  $100 \mu\text{rad}$  (SILEX 系统为  $8 \mu\text{rad}$ ), 从而可使定位精度降低一个数量级; 3) 阵列天线, 即用多个仅几厘米口径的小天线来合成一个大的自相位衍射极限光学天线。

### 3 结 束 语

欧洲第一个卫星间激光通信系统——SILEX 系统已经设计完毕, 目前正处于终端模拟测试和飞行级模拟测试阶段。由于非技术上的原因, 运载卫星已经推迟发射, 但系统的整个研制和阶段测试进展十分顺利。在进行 SILEX 计划的同时, 欧洲航天署还致力于一些旨在使卫星间光通信更实用化和商业化的高级系统、关键技术和关键元器件的研究, 例如高功率固体激光器, 大型电光调制器, 高码率相干光接收机, 搜索和跟踪组件, 单镜精定位组件, 自相位接收天线阵列等, 并取得了很大的成就。

据 SILEX 系统的研制者宣称, 尽管第一代 SILEX 系统还没有完全完成, 但根据所取得的经验, 已经可以设计出比第一代 SILEX 系统更小型, 更高效, 成本更低的新一代实用化卫星间光通信端机, 并很有可能在不久的将来, 用于全球移动通信系统中的卫星间数据传输。鉴于此, 他们断言, SILEX 系统所取得的成就是光波实用于自由空间数据交换的一个重要的里程碑。

感谢激光通信课题组的其他成员在资料收集和讨论中所给予的大力支持。

### 参 考 文 献

1. Gotthard Oppenhauser. SILEX program status—a major milestone is reached. Proc SPIE, 1997, 2 990: 2~9
2. Laurent B, planche G. SILEX overview after flight terminals campaign. Proc SPIE, 1997, 2 990: 10~22
3. Popescu F A, Furch B. Status of the European developments for laser intersatellite communications. Proc SPIE, 1993, 1 866: 10~20
4. Nielsen Toni Tolder. Pointing, acquisition and tracking system for the free space laser communication system, SILEX. Proc SPIE, 1996, 2 381: 194~205
5. Cockshott Robert, Purll David. SILEX acquisition and tracking sensors. Proc SPIE, 1996, 2 381: 206~214
6. Renard M, Dobie P, Gollier J *et al.* Optical telecommunications—performance of the qualification model SILEX beacon. Proc SPIE, 1996, 2 381: 289~300
7. Jonas Reginald P. Optical pupil relay design for SILEX: optimizing wavefront error and transmit/receive beams co-alignment. Proc SPIE, 1992, 1 635: 99~108

# Development Status of European Inter—satellite Laser Communications

Liu Hua     Hu Yu

(Institute of Applied Physics     UEST of China     Chengdu     610054)

**Abstract** This paper summarizes the history , status and future of the ESA (European Space Agency) developments in inter—satellite laser communications. Particularly, the plan, implement and schedule of the biggest project that ESA performed in optical communications at present are given. In the end, some development plans in key technology of elements and systems related to the inter—satellite laser communications of ESA are also presented.

**Key words** inter—satellite laser communication;     laser sources;     laser communication