

## 面向空间信息网络的骨干接入一体化 MEO 卫星系统设计

陈 荷<sup>1</sup>, 乔 洋<sup>2</sup>, 陈 晶<sup>1</sup>, 赵艳彬<sup>1</sup>

(1. 上海卫星工程研究所, 上海 201100; 2. 上海航天技术研究院, 上海 201100)

**摘 要:** 以我国空间信息的应用需求为牵引, 设计了一种系统管理简单、成本可控的空间光网络系统。该系统利用 MEO 卫星组成环形骨干光网络, 兼顾微波接入功能, 实现骨干接入一体化、激光微波混合化的空间信息网络系统, 并对系统覆盖能力进行了仿真, 同时结合 GEO 中继系统和 LEO 卫星系统的特点, 提出分步建设思想, 最终实现全球信息传输和应用的空間信息网络系统。

**关键词:** 空间信息网络; 中轨卫星; 微波激光混合网

中图分类号: TN927 文献标志码: A DOI: 10.3788/IRLA201645.0822003

## Backbone-access integration space information network system design based on MEO satellite

Chen He<sup>1</sup>, Qiao Yang<sup>2</sup>, Chen Jing<sup>1</sup>, Zhao Yanbin<sup>1</sup>

(1. Shanghai Institute of Satellite Engineering, Shanghai 201100, China;

2. Shanghai Academy of Spaceflight Technology, Shanghai 201100, China)

**Abstract:** In demand for the application of China's space information, a simple-managing and controllable-cost space optical network was designed. The established circle backbone network based on MEO satellites was equipped with microwave access ability to realize the backbone-access integrated and optical-microwave hybrid space network system. Coverage capacity was also simulated. The implementation scheme by step which was proposed based on the combination of the characteristics of the GEO relay system and the LEO satellite as well will contribute to the space network system for global information transmission and application.

**Key words:** space information network; MEO satellite; microwave laser hybrid network

收稿日期: 2015-12-05; 修订日期: 2016-01-03

作者简介: 陈荷(1980-), 女, 工程师, 博士, 主要从事卫星通信与组网方面的研究。Email: hearncchen@163.com

## 0 引言

目前,中国的卫星系统大部分采用境内地面站回传的方式实现空间数据的收集,数据时效性差;另外由于回传时间限制,天基载荷利用率也较低。未来,随着天基装备数量的扩充以及天基装备精度的提高,空间基础设施给地面数传和测控系统均将带来较大的压力,而空间信息网络有望解决这一问题。空间信息网络系统是通过天基网络实现天基装备与地面装备的互联互通、天基装备与天基装备的互联互通、地面装备与地面装备的互联互通,从而实现空间数据的网络化传输和应用。

文中以我国空间信息的应用需求为牵引,结合 GEO 中继系统、MEO 卫星特点和 LEO 系统特点,设计了一种系统管理简单、成本可控的空间光网络系统,并通过分步建设的方法,最终实现全球信息传输和应用的空信息网络系统。该系统利用 MEO 卫星组成环形骨干光网络,兼顾微波接入功能,实现骨干接入一体化、激光微波混合化的空信息网络系统,最后对系统覆盖能力进行了仿真,仿真结果表明系统能够支持全球空信息传输和应用。

## 1 空信息传输现状

### 1.1 天基用户现状与需求

空信息网络的用户主要分为天基用户和地面用户。按照轨道高度划分,天基用户一般可分为深空航天器用户、GEO 卫星用户、MEO 卫星用户和 LEO 卫星用户,其中深空航天器可直接与地面深空站建立通信,或者借助 GEO 中继卫星系统实现数据接力传输;GEO 卫星一般可通过境内地面站实现数据的实时下传,LEO 卫星只能通过可见弧段或 GEO 中继卫星进行对地数传。表 1 和表 2 分别是我国目前在轨卫星和在轨 LEO 卫星的空间分布情况(截止到 2014 年 4 月)。

表 1 我国在轨卫星分布

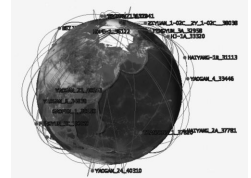
Tab.1 In-orbit satellite of China

	GEO	MEO	LEO
Number of in-orbit satellites	26	4	63
Types	Relay, communication, navigation, meteorological	Navigation	Science experiments, space defense, earth

表 2 我国在轨 LEO 卫星轨道分布

Tab.2 In-orbit LEO satellite of China

In-orbit LEO	
Orbital height	479-1 200 km
Orbital inclination	SSO:97.33°-100.44° Inclined orbit:63.41;75°



由上述分析可知,空信息网络的的天基服务对象将主要为大量 LEO 卫星用户。由对 LEO 卫星用户的轨道分布统计可知,空信息网络需对 450 km 以上的天基用户具备较好的时空覆盖能力,以支持天基数据的及时传输和应用。

### 1.2 地面用户现状与需求

文中将使用天基数据的地面站和终端,以及借助天基装备传输数据、实现通信的地面站和终端均称为地面用户。按照移动性划分,地面用户分为固定地面用户和移动地面用户。其中固定地面用户一般为地面数传、测控站和地面数据中心,为单向链路用户;移动地面用户包括各类舰载、船载、车载、手持通信终端,目前的主要任务为语音通信,部分终端也会包含广播接收功能,接收图像、视频数据等。当前的移动地面用户主要借助于美国的铱星系统以及海事卫星系统实现在特殊地区(如极区、远海等偏远地区)的通信。

### 1.3 我国天基传输能力现状

我国的天基数据传输主要依靠国内地面站和 GEO 中继卫星系统。我国目前地面站主要布局在国内,还没有实现全球布站;中继卫星主要包括一代中继卫星系统和正在论证的二代中继卫星系统,其覆盖示意图如图 1 所示。其中一代中继卫星系统由三星组网运行,能够对全球态势基本形成覆盖,但是传输容量非常有限。二代中继卫星系统由东、中、西三个同步轨道节点上各放置两至三颗中继卫星构成,同时部署了两颗大椭圆轨道卫星,传输容量得到了一定程度的提升,但是由于中继卫星系统面向宽带用户服务,系统容量在个位数级别,大量 LEO 遥感卫星的数据回传仍然依赖于过境时数据回传的方式来实现。

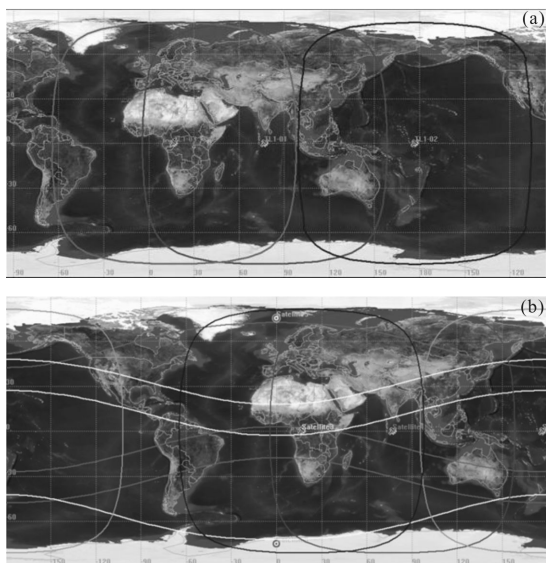


图 1 一代/二代中继卫星系统五星覆盖示意图

Fig.1 Coverage capacity of 1G/2G relay satellite system

### 1.4 我国空间信息网络需求分析

空间信息网络主要传输四类数据，包括高分遥感数据、全球测控数据、指控数据和大量遥感与侦察数据，各类数据 QoS 需求总结如表 3 所示。

表 3 四类空间数据的服务质量要求

Tab.3 QoS of four kinds of space data

Date types	Bandwidth	Other QoS
High-resolution data, remote sensing data	Broadband	Few users, non real-time
TRC data	Narrowband	Dedicated service
Command and control data	Narrowband	Real-time, accuracy
Remote sensing and investigation data	Broadband/narrowband	More users, multi-level service

目前中继系统基本能满足前两类数据的传输需求，后两类数据传输保障能力尚处于空缺状态。其中，指控数据虽然带宽要求不高，但其信息传输实时性、准确性要求高；遥感与侦察数据用户量大，要求系统能够随遇接入大量用户，提供多等级服务。

## 2 MEO 骨干/接入一体化光网络体系架构设计

### 2.1 空间信息网络体系架构现状分析

在空间信息网络的总体架构中，常见的体系架构形式包括 GEO/MEO/LEO 单层或多层混合的形

式，形式不同的网络具有不同的网络特性<sup>[1-3]</sup>。

#### 2.1.1 GEO 卫星网络

GEO 卫星网络由于单星地域覆盖范围广，较少的卫星网络节点(3~5 颗)即可构成一个环形的骨干网络，达到对地球中低纬度地区的全域覆盖与服务；另外 GEO 卫星网络节点相对地球静止，其网络拓扑固定，链路和波束切换少，网络接入、路由和管理较简单；但是由于 GEO 卫星网络节点距离地球 35 786 km，星地传输距离远，时延较大(250 ms)，会影响语音通话的服务质量，也会影响时效性要求极高任务(如指挥控制指令等)的执行效果；另外由于地球静止轨道轨位资源面临枯竭，新的轨位难以申请，系统扩容受到较大影响。

#### 2.1.2 MEO 卫星网络

MEO 卫星网络同样可以组成一个环形的骨干网络，其轨道高度不同，MEO 卫星网络系统组成环形拓扑所需的卫星节点数目也会不同。相对于 GEO 卫星网络，MEO 卫星网络节点距离地球距离大大缩短(5 000~20 000 km)，星地传输时延较小，可以补充 GEO 卫星网络的能力短板，实现对实时性要求严格的业务支持；另外，由于 MEO 卫星网络节点不受轨位资源限制，卫星网络系统可以灵活扩展，随时进行扩容升级，满足未来越来越多的用户随遇接入的需求。

#### 2.1.3 LEO 卫星网络

LEO 单星覆盖范围很小，但是由于卫星相对地球快速运动，在轨道设计合适的情况下，随着地球的自转和时间的累积，单星即可实现对地球的全域访问覆盖，因此比较适合卫星遥感任务。但是对于通信服务，即使针对某一微小区域的通信支持，也是需要卫星一直对该区域能够实现时间不间断的波束覆盖，对此 LEO 卫星就需要建立一个星座系统，通过接力覆盖的方式实现重访周期为 0 的覆盖，这样在业务分布严重不均衡的情况下，大量卫星总是处于闲置状态，系统的使用度较低。典型的 LEO 卫星网络有铱星星座系统，整个星座由 66 颗处于 780 km 高度的 LEO 卫星组成，66 颗卫星分布在 6 个轨道面上，每个轨道面 11 颗卫星，通过多波束天线实现全球无缝覆盖。铱星系统的星间切换时间为十几分钟，星内波束切换为 2~3 min，全球 11 个信关站对卫星星座和全球业务呼叫进行管理和控制，同一时刻过顶高纬度地区的卫星数量较多，

大量波束会关闭。

综上所述,建设空间信息网络系统采用的轨道高度不同,其在系统规模、成本、使用度、扩展性、QoS 以及技术复杂度等方面均会带来极大的差异。表 4 是对 GEO/MEO/LEO 不同轨道高度组网时网络性能的对比如表 4 所示。

表 4 GEO/MEO/LEO 网络性能对比  
Tab.4 Net performance comparison of GEO/MEO/LEO

	GEO	MEO	LEO
No. of Satellites	Few	Few	Lots of
Network topology	Fixed	Relatively fixed	Frequent changes
Switching	Less	More	Frequently
Delay	High	Low	Low
Life	High	Middle	Low
Efficiency of system	High	High	Low
Scalability	Less flexible	Flexible	Flexible
Access	Easy	Easy	No-easy
Routing	Simple	Less simple	Complex
ISL	Stable	Stable	Frequent changes
Network management	Simple	Simple	Complex

### 2.2 MEO 卫星光网络体系架构设计

文中在设计空间信息网络系统时,遵循如下基本原则:

- (1) 满足空间用户随遇接入需求;
- (2) 系统具有一定的扩展性,通过扩容能够逐步满足对地面用户的服务支持;
- (3) 系统成本较低,充分考虑已有装备的继承性和过渡性;
- (4) 系统建设符合中国国情,首先满足国土及周边区域的覆盖需求,无需全球布站,即可实现系统的控制与管理。

综合考虑上述四条设计原则,以及我国信息传输现状,文中提出了“四步走”分阶段建设空间信息网络的计划。第一阶段,空间信息网络以现有的中继系统为能力基础,通过升级换代,初步实现网络化传输与控制能力;第二阶段,空间信息网络的设计,可以通过增加 5~6 颗 0°倾角 MEO 卫星组网,形成空间信息骨干网;第三阶段,通过增加一个轨道面的极轨 LEO 卫星实现对高纬度和极区的无缝覆盖;第四阶段,随着空间用户和地面用户数的增加,逐步增加

MEO 卫星节点数,缩短星间链路距离,扩容 MEO 卫星星座,从而实现空间信息网络系统的扩容和升级。其系统发展路线图如图 2 所示。

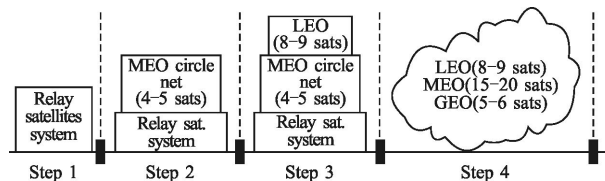


图 2 空间信息网络发展阶段示意图

Fig.2 Stage of development for space information network

经过四个阶段的发展,空间信息网络最终形成以 MEO 为功能中心的网络架构,GEO 卫星网络节点可以独立成网,承担全球测控任务的同时,分担少量遥感数据回传任务;LEO 卫星网络节点形成一个环形接入网,对高纬度地区实时业务的服务能力进行补充。

MEO 卫星组成环形拓扑网络,如图 3 所示。

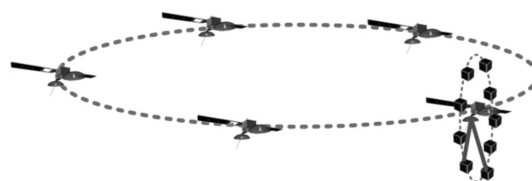


图 3 MEO 骨干接入一体化空间网络架构示意图

Fig.3 MEO backbone-access integration space network architecture

在此网络架构中,MEO 卫星之间通过激光星间链路互联,实现高速骨干传输,MEO 卫星网络节点和用户之间通过微波相控阵天线建立微波星间链路,实现用户的随遇接入,因此 MEO 卫星网络节点是骨干接入一体化网络节点;同时由于每个卫星节点均有激光通信终端和微波通信终端,所以 MEO 卫星网络节点同时又是激光/微波混合节点,激光链路承担骨干数据传输,微波链路提供随机用户接入。

### 2.3 仿真分析

仿真系统是由四颗轨道高度为 8 000 km,轨道倾角为 0°卫星等相位分布形成的环形卫星网络,如图 4 所示。通过 STK 仿真计算,在每颗卫星对地通信仰角为 5°的约束条件下其系统覆盖范围如图 5 所示。由仿真分析可知,该环形网络可以实现南北纬 61°之间地球表面的通信覆盖,可实现对我国全域范围的通信与信息传输覆盖支持。

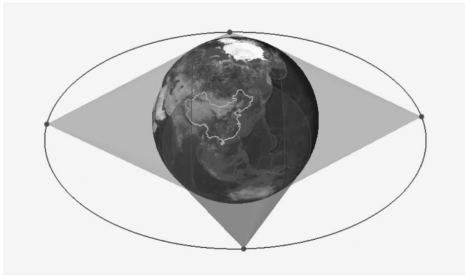


图 4 MEO 环形网络拓扑

Fig.4 MEO ring network topology

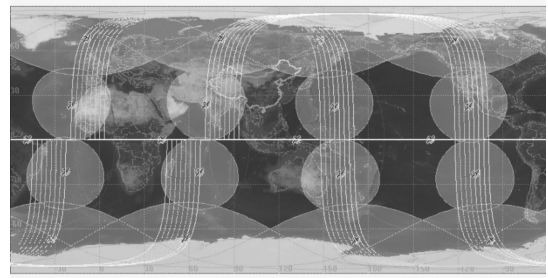


图 7 中低轨混合卫星网络覆盖图

Fig.7 Coverage capacity of MEO/LEO hybrid satellite network

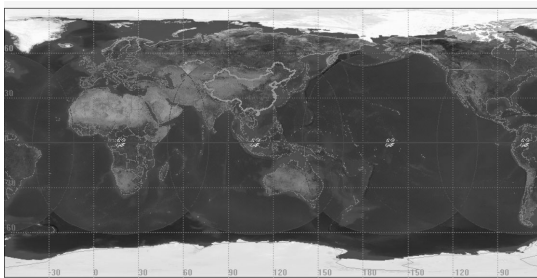


图 5 MEO 环形卫星网络覆盖

Fig.5 Coverage capacity of MEO ring satellite network

为了填补星座对高纬度区域(如南北极)的覆盖空白,可通过 1~2 轨道面内的低轨卫星局部增强覆盖能力。取两个轨道面内轨道高度为 850 km、轨道倾角为  $85^\circ$  的低轨卫星共 16 颗,与四颗 MEO 卫星系统组成混合拓扑卫星网络,如图 6 所示。通过 STK 仿真计算,该 MEO/LEO 混合拓扑卫星系统的覆盖如图 7 所示。由仿真结果可知该 MEO/LEO 混合系统对地覆盖率高于 96%,对天基用户覆盖率接近 100%。随着天基装备的发展,通过 MEO 系统扩容(扩至 6~8 颗),和轨道优化设计,可以实现全球 100%覆盖。

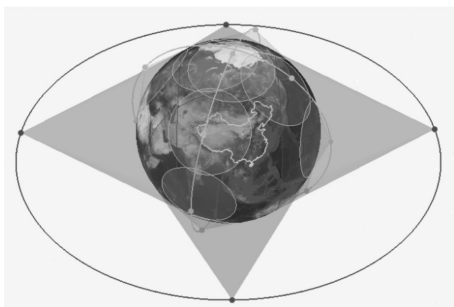


图 6 中低轨混合拓扑空间信息网络

Fig.6 MEO/LEO hybrid topology space information network

### 3 结 论

空间信息网络的建设和我国未来装备用天的能力和效率息息相关,规划和设计空间信息网络,是一个需要从顶层设计、技术攻关到工程实现等各个环节进行充分论证的系统工程,为此需要空天用户、航天总体单位、关键技术攻关院所、工程研制单位等其心协力开展工作。

根据国情,我国未来的空间信息网络应充分发挥现有装备的效能,按需建设,并考虑系统具备足够的可扩展性,为此文中给出如下四点建议。

(1) 空间信息网路以中继卫星系统为能力基础,通过升级换代率先实现网络化控制与传输能力。

(2) 可以通过 MEO 卫星网络实现骨干接入一体化空间信息网络,实现中继系统的扩容。

(3) 先进技术攻关需要和工程实现相结合。如全光交换技术<sup>[4]</sup>。

(4) 地面网络技术的搬移要尽可能多考虑天基特点。如协议技术、分组技术等<sup>[5-8]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] Zhao Shanghong, Wu Jili, Li Yongjun, et al. Present status and developing trends of satellite laser communication [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2011, 48(1): 7-21. (in Chinese)
- [2] CCSDS 702.1 -B -1. IP over CCSDS space link, recommendation for space data system standards [S]. Blue Book, 2012.
- [3] LEOPOLD R J, MILLER A. The IRIDIUM communications system [C] //IEEE Conf MTT-S Int Microwave Symp Dig, 1993: 575-578.
- [4] Liang Ping, Zhao Shanghong, Li Yongjun. Research of optical

- satellite networks based on wavelength routing [J]. *Optical Communication Technology*, 2006, 9(1): 44–46. (in Chinese)
- [5] Zheng Yang, Fu Yuegang, Hu Yuan, et al. Research on four-mirror dynamic alignment based on space laser communication link networks[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2014, 41(1): 1–7. (in Chinese)
- [6] Deng Boyu, Zhao Shanghong, Li Yongjun, et al. Research of data encapsulation problem in optical satellite networks [J]. *Optical Communication Technology*, 2015(5): 8–11. (in Chinese)
- [7] Li Ruixin, Zhao Shanghong, Qian Yuan, et al. A research reservation protocol for on-board optical switching network [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2014, 35(3): 865–876. (in Chinese)
- [8] Li Ruixin, Zhao Shanghong, Zhu Meng, et al. Research of on-board satellite optical switching resource reservation protocol based on E-OBS architecture [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2015, 52(1): 1–7. (in Chinese)