

# 新一代低轨卫星网络和地面无线自组织网络融合技术的探讨

## Technology of New Generation LEO Satellite Network and Terrestrial MANET Integration

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 04-0058-006

**摘要:** 展示并验证了一种由新一代低轨卫星网络和地面无线自组织网络组成的星地一体化网络。此星地一体化网络中的低轨卫星网络可以提供大容量、低时延的网络覆盖,其“低轨”的特点又可减小地面终端的尺寸,增强地面网络的移动性。与经典的中轨和静止卫星网络相比,此种网络可以提供更高通量、更高移动性的通信支持,大大拓宽通信网络的应用范围。对不同的网络层次结构采用相应的软件仿真工具环境,为今后进一步深入研究卫星网络的体系结构和自组互联网技术起到了抛砖引玉的作用。

**关键词:** 低轨卫星; 无线自组织网络; 一体化通信网络

**Abstract:** In this paper, we introduce and validate a satellite-terrestrial integrating network constructed by new generation low earth orbit (LEO) satellite network and terrestrial mobile ad hoc network. The new generation LEO satellite network within this integrated network could provide massive network coverage with high throughput and low latency, while the feature of low orbit could reduce the sizes of terrestrial terminals and furthermore could promote terrestrial network's mobility. In comparison with classic medium earth orbit (MEO) and geosynchronous (GEO) satellite networks, the introduced integration network could offer communication supports with higher throughput and higher mobility, which greatly broaden the application scenarios of communication networks. Different simulation software and techniques were used for studying different layers of satellite communications and networks, which could hopefully inspire future research on satellite networks and ad hoc networks.

**Key words:** LEO satellite; mobile ad hoc network; integrated communication network

杨昕/YANG Xin<sup>1</sup>  
孙智立/SUN Zhili<sup>1</sup>  
刘华峰/LIU Huafeng<sup>2</sup>  
赵康健/ZHAO Kanglian<sup>3</sup>  
程子敬/CHENG Zijing<sup>4</sup>  
苗晔/MIAO Ye<sup>3</sup>  
Haitham Cruickshank<sup>1</sup>

(1. 萨里大学, 萨里 吉尔福德 GU2 7XH;  
2. 中国科学院, 北京 100190;  
3. 南京大学, 江苏 南京 210093)  
4. 航天恒星科技有限公司, 北京 100029;  
(1. University of Surrey, Guildford, Surrey  
GU2 7XH, UK;  
2. Chinese Academy of Sciences, Beijing  
100190, China;  
3. Nanjing University, Nanjing 210093, China)  
4. Space Star Technology Co., LTD, Beijing  
100029, China;

- 将 STK 与 NS 相结合使用可全方位地获得卫星网络的仿真数据
- OneWeb 能够满足不同用户的不同需求, 极大地扩展了卫星网络的用户群和业务潜能
- 新一代的低轨卫星通信网络更适合与地面其他种类网络混合组网

在过去的几十年里, 我们见证了通信和网络技术的飞速发展, 同时也见证了航天技术的发展。从传统的电话语音到最新的高清实时流媒体播放等, 越来越多的网络技术丰富了人们的沟通手段。然而, 某种类型的通信网络在具有自身独特优势的同时, 往往也存在一些不足。比如, 固定宽带网络可以提供高带宽、

收稿时间: 2016-05-17  
网络出版时间: 2016-07-01

高稳定性的服务, 但是网络的覆盖受地理因素的制约, 且可移动性极为有限; Wi-Fi 网络可以保证通信终端的移动性, 但是其通信质量受环境严重影响; 卫星通信网络可以覆盖海洋、山区、沙漠等偏远地区, 但网络不够灵活、系统管理也较为复杂。因此, 近年来越来越多的研究者把注意力集中到了异种网络互联上, 希望可以发挥不同种网络的优势、弥补各自的不足。

无线自组织网络 (MANET) 是一种不需要集中式管理的自治无线网络。在无线自组织网络中, 每一个节点既是发射接收端, 又是路由器。通过运行相应的路由协议, 节点间可以自发地进行路由发现和路由信息交换; 距离较近的节点之间可以直接进行无线通信, 距离较远的节点间则通过其他节点的接力传输实现通信。定时或不定时的路由表更新可以保证在网络拓扑发生变化后, 整个网络

仍保持通信能力,从而使得无线自组织网络拥有较强的移动性和鲁棒性。

卫星通信研究从19世纪60年代至今一直保持着活力<sup>[1]</sup>。得益于现如今“任意时间、任意地点”通信<sup>[2]</sup>的概念,卫星通信网络的地位在未来还将进一步的提升。通常来说,卫星的轨道越高其覆盖面积越大,但是通信的时延也越长。一般说来,卫星的运行轨道根据高度可以分为:

(1)低轨道(LEO):轨道高度为160~2 000 km;

(2)中轨道(MEO):轨道高度为2 000~35 786 km;

(3)静止轨道(GEO):轨道高度为35 786 km,运行在此轨道上的卫星与地球的相对位置不受地球自转的影响。

传统的卫星通信应用场景<sup>[3]</sup>如图1所示。

受各方面条件的限制,在进行卫星网络相关研究时很少可以用到真实的卫星作为实验平台,因此使用相关软件进行系统仿真是卫星网络研究的常用手段。常见的卫星通信网络仿真软件包括STK及网络仿真器(NS)等。其中STK主要用来对卫星的轨道、波束覆盖、环绕地球周期等物理参数进行模拟,NS主要用来对网络的通信性能进行仿真。将STK与NS相结合使用可全方位地获得卫

星网络的仿真数据。

文中,我们主要讨论基于新一代低轨卫星系统和地面无线自组织网络的IP网络融合技术。将首先介绍几种传统的低中轨卫星网络和新一代的低轨卫星网络,以及国际上对于卫星-地面融合网络的相关研究情况,然后基于软件仿真数据对相关技术进行讨论,并最终给出对未来相关研究方向的想法和建议。

## 1 低轨、中轨卫星通信网络

卫星通信网络(尤其是低轨和中轨卫星通信网络)技术近年来发展迅速。从1990年至今,数个低轨和中轨卫星通信网络已经正式提供商业服务,其中比较著名的包括低轨的铱星网络和中轨的O3b网络。

### 1.1 铱星网络

铱星网络最早由美国摩托罗拉公司建设并于1998年末正式开始提供商业服务<sup>[4]</sup>。该系统包含66颗运行在781 km高度的服务卫星和多颗运行在666 km高度的备用卫星。该网络可以提供覆盖全球的语音服务、短信服务和数据宽带业务。卫星间通过10 Mbit/s的Ka波段星间链路(ISL)进行数据交换。

铱星网络现在由铱星通讯公司运营。从2015年起,铱星通讯公司

开始建设专注于为宽带业务提供支持“下一代铱星”网络。下一代铱星网络包含66颗在轨服务卫星和多颗在轨备用卫星,其可在L波段和Ka波段分别提供1.5 Mbit/s和8 Mbit/s带宽<sup>[5]</sup>。

### 1.2 O3b网络

O3b网络由12颗运行在8 062 km高度的中轨卫星组成,与地面通过Ka波段进行高速数据传输;该网络为南北纬62°以内区域提供网络覆盖。O3b网络服务时延小于150 ms,并且每个波束可提供最大1.6 Gbit/s的带宽。

O3b网络提供针对宽带业务、移动网络、远洋能源企业、海事和政府的5种不同类型的服务,能够满足不同用户的不同需求,从而极大地扩展了卫星网络的用户群和业务潜能。

### 1.3 OneWeb

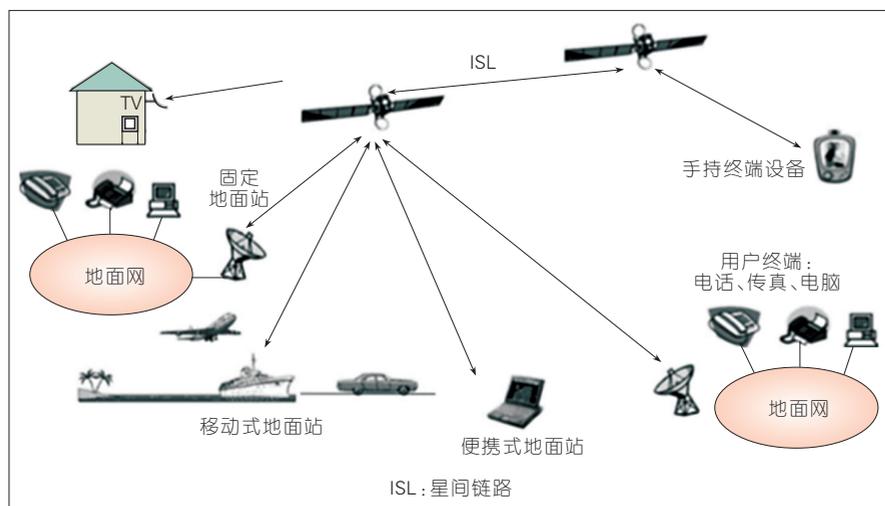
由于业务需求的不断扩张并得益于低成本小卫星、低成本火箭技术的迅猛发展,国际上越来越多的大型科技公司将目光转向新一代低轨卫星通信网络的设计与建设,力图尽快抢占市场。几种比较有代表性的新一代低轨星座如表1中所示。

与上面提到的另外两种低轨卫星网络相比,OneWeb的发展最早、最迅速,整个网络于2014年末提出,计划从2017年开始组建,并从2020年开始提供服务<sup>[6]</sup>。

整个OneWeb网络计划由多600颗低轨卫星组成,运行在1 200 km高度的轨道上。该网络可为每个地面用户提供50 Mbit/s的宽带网络连接,每颗星可处理6 Gbit/s的网络吞吐量;卫星与地面间将采用Ku频段。图2为使用AGI STK模拟出的OneWeb星座图。

## 2 卫星网络与地面网络的融合

卫星网络与地面网络融合组网



▲图1 传统的卫星通信应用场景

▼表1 几种新一代低轨通信卫星星座

星座名称	卫星数量/个	参与公司
OneWeb	648	OneWeb、Qualcomm、Virgin Group、Airbus等
SpaceX	约4 000	SpaceX
Samsung	约4 600	Samsung

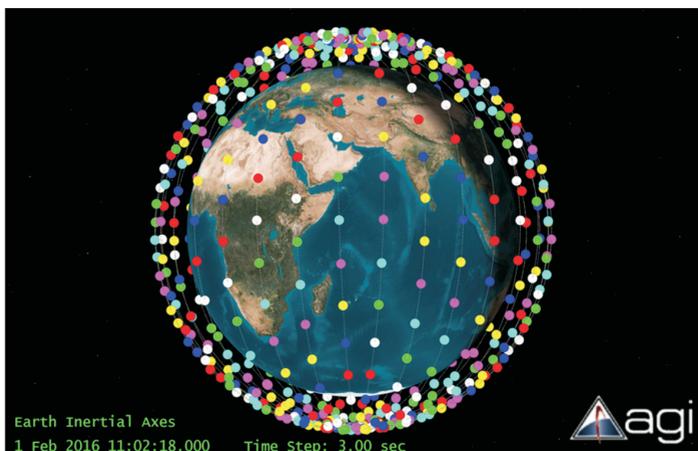


图2 OneWeb 星座

时会遇到以下问题。

(1)用户对网络容量的需求增长迅速,地面网络可以相对方便地及时更新网络设备以满足用户需求;通信卫星的设计寿命通常在10年左右或更长,在此期间通常不会对正常在轨运行的卫星进行更新,从而导致过去发射的卫星处理能力往往与地面网络的处理要求不匹配。

(2)地面通信网络和卫星通信网络往往执行着不同的网络协议,在进行互联互通的时候需要面临多次的协议转换,这就会影响网络整体的传输效果。

(3)地面通信网络与卫星通信网络的主要应用场景、设计考量不同:地面通信网络主要满足客户对容量、时延等网络特性的需求;而卫星通信网络更侧重于提供大范围的网络覆盖支持。不同的应用场景导致了网络特性的不同,这就造成了融合时的困难。

如果能将上述问题解决,那么卫星通信网络就可以和地面通信网络有机结合起来,从而实现高质量的全球网络覆盖。

将太空中的卫星通信网络与地

面的传统有线或无线网络相结合进行信息传输的想法始于20世纪80年代<sup>[7]</sup>。网络融合研究项目包括欧盟 COST 226 空间与地面网络融合<sup>[8]</sup>和欧盟 COST 227 空间与地面移动网络融合<sup>[9]</sup>。以 COST 227 项目为例,来自12个欧洲国家的23支研究团队与欧洲航天局(ESA)共同合作,任务目标是使融合网络提供尽可能多的通信服务功能。

由于当时技术水平限制,上述的早期网络融合研究存在着以下问题。

(1)20世纪90年代的卫星网络通常被用作传统语音服务和窄带信息服务(如文本网页浏览、邮件收发等)的中继手段,其无法满足当今普遍的宽带多媒体服务需求。

(2)早期的工作主要着力于卫星网络与地面2G移动网络的融合;现如今3G、4G网络已经商用化,5G网络也将推出,除了移动网络之外许多其他种类的无线网络也被广泛应用。卫星网络与不同种类网络融合可能会面临不同的问题。

从2000年至今世界上的卫星网络与其他网络融合的研究项目包括 SatNex<sup>[10]</sup>、SATSIX<sup>[11]</sup>、WHERE<sup>[12]</sup>、

MONE<sup>[13]</sup>和BATS<sup>[14]</sup>等。表2中展示了这几个项目的技术细节对比。

### 3 新一代低轨卫星网络与地面网络的融合

近些年的研究项目已经各自证明了卫星与地面融合网络的通信能力与潜力,极大地拓展了通信网络的应用范围,其尤其适用于本地通信设施缺乏或受损的场景。在当地通信设施没有受到很大损害的时候,传统的移动手机网络、宽带网络仍然可以提供与外界连接的通信通道;但是当基础通信设施受到大面积损坏甚至被摧毁时当地的传统通信网络将陷入瘫痪,此时将地面的移动自组网与太空中的卫星网络相结合提供通信服务将是理想的,有时甚至是唯一的选择。

我们以 OneWeb 作为低轨卫星通信网络来验证此种融合网络的通信性能。此部分的仿真实验基于 AGI STK 和 NS-3。

#### 3.1 网络设计

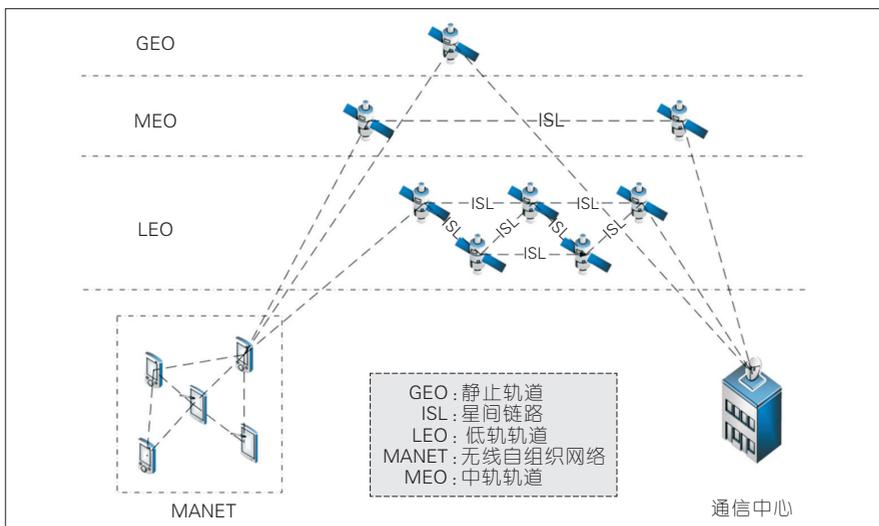
地面的 MANET 通过卫星网络与远处的通信中心进行通信交流的场景如图3所示。

图3中数部手持终端相互连接组成地面 MANET,其中的一部分手持终端可与卫星网络相连。需要传输的数据从发送端发出后经过 MANET 内部路由传输至与卫星网络相连的终端并进而进入卫星通信网络,一些卫星通信网络应用了星间链路技术使得信息可在卫星间进行传输,数据最终经由卫星网络传输至远处的通信中心。如此构建出的地面-卫星融合网络可为森林救火、深山营救、海岸线边防等多种场景提供高移动性的动态网络服务支持<sup>[15]</sup>。

图3所示的融合网络的主要技术难点在于使用 MEO 和 LEO 卫星时卫星的移动、切换与重组,因此在网络设计过程中需要考虑到地面网关与卫星通信时的切换问题、卫星网络内

▼表2 几种网络融合项目技术的对比

项目	项目目标	地面网络类型	卫星通信频段	上行/下行频率及(或)标准
SatNex	在物理层上探索天地一体化信号处理方法	IP网络	Ka 频段	上行: 20 GHz (DVB-S2) 下行: 30 GHz (DVB-RCS2)
SATSIX	在卫星网络上实现 IPv6	Wi-Fi、WiMax	Ku 频段	上行: DVB-S 下行: DVB-RCS
WHERE	同时使用 GPS 系统和地面无线网络来以供更准确的定位服务	LTE、Wi-Fi、UWB、ZigBee 等	L 频段	使用 GPS 相关标准
MONET	为灾害地区提供高动态的天地一体化网络	MANET	L 频段	上行: 1 626.5 ~ 1 660.5 MHz 下行: 1 525 ~ 1 559 MHz
BATS	使用“智能网关”在地面网络与卫星网络之间进行自动切换,为地面用户提供更高的服务质量。	xDSL、无线宽带等	Ka 频段、Q/V 频段	上行: 17.7 ~ 20.2 GHz、37.5 ~ 38.5 GHz 下行: 27.5 ~ 30 GHz、40.5 ~ 41.5 GHz
DSL: 数字用户线路 DVB: 数字视频广播		LTE: 长期演进技术 MANET: 无线自组织网络	UWB: 超宽带 WiMax: 全球微波互联接入	



▲图3 融合网络网络示意

部的拓扑及路由的变化问题。GEO 卫星与地面的相对位置不变,地面网关与 GEO 卫星通信时通常不涉及此问题。

### 3.2 仿真参数及配置

仿真场景中,MANET 部分由 5 个通信节点组成,其中一个节点同时作为卫星网关。我们通过仿真分别分析比较了 LEO 卫星网络与 MEO、GEO 卫星网络在这种融合网络中的表现,如表 3 所示。在仿真计算过程中,卫星通信网络相关参数取自 OneWeb、O3b 和 Inmarsat 的真实数据,不考虑

▼表3 仿真参数配置

参数	具体内容	值
MANET	场景大小	50 m x 50 m
	节点数量	5
	路由协议	AODV
卫星网络设定	LEO	OneWeb
	MEO	O3b
	GEO	Inmarsat
MANET 所在地	南沙群岛(10° N,114° E)	
远处通信中心所在地	北京(40° N,116° E)	
仿真时间/h	1	
AODV: 无线自组网按需平面距离向量路由协议 GEO: 地球静止轨道		LEO: 低轨道 MANET: 无线自组织网络
		MEO: 中轨道

星上处理时间。

由 STK 软件生成的仿真场景示意如图 4 所示。图中不同的彩色圆点代表不同卫星的位置,其中距离地面最近的圆点代表 OneWeb 卫星,稍远的圆点代表 O3b 卫星;Inmarsat 卫星由于轨道位置过高而未被包含在图 4 中。

### 3.3 仿真计算与结果

利用 Wireshark 对 NS-3 运行时生成的纪录文件进行分析,得到 MANET 的网络仿真情况,然后使用仿真软件 SaVi<sup>[15]</sup>观察卫星在某时经过某地上空的情形。例如,用其观察某时刻北京上空 OneWeb 卫星位置的情况如图 5 所示。

与 MEO、GEO 卫星相比,LEO 最大的特点为低轨道高度,低轨道高度通常意味着更短的通信距离和更低的通信时延,因此我们着重讨论不同卫星系统在通信时延方面的表现。

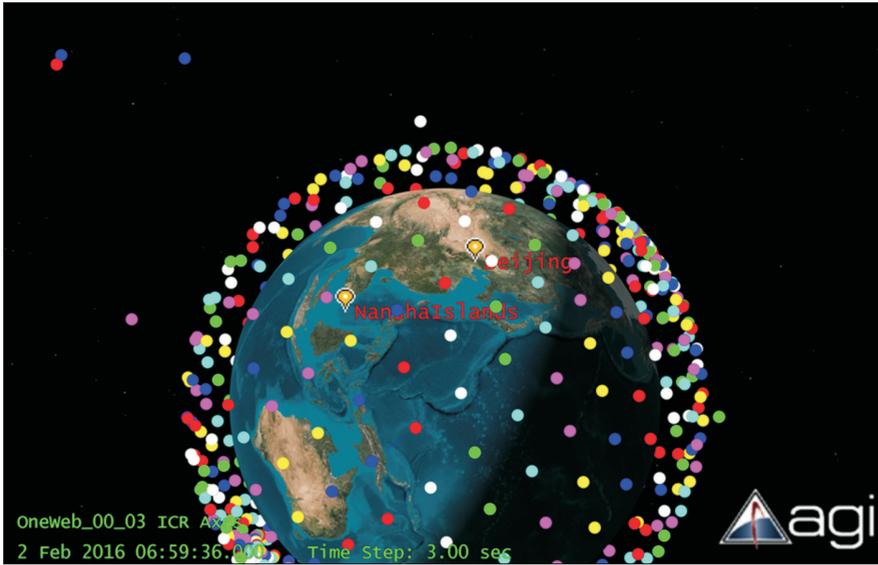
对于同轨道和相邻轨道上的两个相邻卫星,其间距离分别为:

$$d_{\text{同轨}} = \sqrt{(1 - \cos \alpha) \times 2 \times R^2} \quad (1)$$

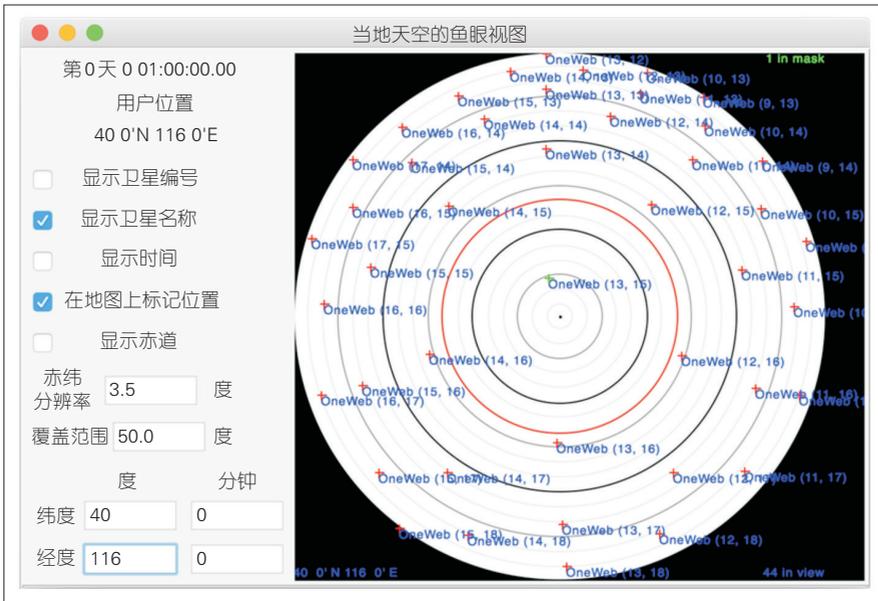
$$d_{\text{邻轨最小}} = \sqrt{(1 - \cos \frac{\alpha}{2}) \times 2 \times R^2} \quad (2)$$

$$d_{\text{邻轨最大}} = \sqrt{2R^2 - 2R\sqrt{R^2 - d_{\text{同轨}}^2} \times \cos \beta} \quad (3)$$

其中  $\alpha$  为两相邻卫星间夹角,  $\beta$



▲图4 仿真场景示意



▲图5 某时刻北京上空OneWeb卫星位置

为两相邻轨道夹角,  $R$  为卫星轨道高度与地球半径之和。

在获知不同节点间的位置关系后,信息在传输路径中经历的时延可使用如公式(4)来计算:

$$t = d/c \quad (4)$$

其中,  $t$  为时延,  $d$  为距离,  $c$  为光速。

最终的仿真结果如表4所示,其中地面部分时延为NS-3的仿真结

果,卫星部分时延为根据仿真软件给出的卫星与地面相对位置而得出的计算结果;时延为端到端时延。

从表4中我们不难看出相比于经

▼表4 仿真与计算结果

MANET/ms	卫星部分时延/ ms	总时延/ms
8.7	23 ~ 28(LEO)	31.7~36.7
	62 ~ 75(MEO)	70.7~83.7
	258 ~ 260(GEO)	266.7~268.7
MANET : 无线自组织网络		

典的MEO、GEO网络,LEO卫星网络可以显著降低网络整体的传输时延,而较低的网络延迟是提供实时语音、视频传输等对延迟敏感服务的关键,而这些服务在当今的通信服务中占有着重要的位置。国际电信联盟电信标准化部门(ITU-T)对于IP网络服务的质量等级定义如表5所示<sup>[10]</sup>,从中可见传输时延指标对通信网络服务质量的重要性。

除了低延迟外,LEO卫星网络的低轨道减少了信息在传输过程中的损耗,从而可以降低误码率,也可以减少地面通信终端的尺寸;Ka波段高带宽低轨卫星技术的发展也将显著提高LEO卫星的信息处理能力和服务质量。针对LEO卫星的其他优势可以进行更多细致化的研究,在此暂不做细节讨论。

#### 4 结束语

过去的几十年间人类从未停止过探索新的网络技术的脚步。随着卫星制造成本和发射成本的降低,低轨小卫星组网的可行性大大增加,相关技术得到了前所未有的发展,并受到世界各地科研人员的瞩目。文中,我们比较了几种不同卫星通信网络在卫星-地面融合网络中表现,从仿真结果来看新一代的低轨卫星通信网络较传统的卫星通信网络而言,更适合与地面其他种类网路混合组网以提供高质量、低时延的通信支持。

除了星座设计、路由算法等研究内容以外,在未来的研究中科研人员还可以将研究重心放在融合网络的信息安全、服务质量以及针对不同场景的特点提供新的网络应用等方向上去。相信经过更加深入的研究,新

▼表5 IP网络服务质量等级定义

	第0级	第1级	第2级	第3级	第4级	第5级
传输时延	100 ms	400 ms	100 ms	400 ms	1s	未定义
时延偏差	50 ms	50 ms	未定义	未定义	未定义	未定义
丢包率	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	未定义
误码率	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$	未定义

一代低轨卫星网络必将在更多领域发挥其特有的优势,实现在任意时间为任意地点提供可靠的网络覆盖。

## 参考文献

- [1] CHIEN E, MARINHO J, RUSSELL S J. Design Mobile Satellite System Architecture as An Integral Part of the Cellular Access Digital Network [C]//Jet Propulsion Lab., Proceedings of the Mobile Satellite Conference. Whiphany: Bell Telephone Labs, 1988: 387-394
- [2] NetWorld2020 ETP. 5G: Challenges, Research Priorities, and Recommendations [R]. 2014
- [3] SUN Z. Satellite Networking: Principles and Protocols [M]. Chichester: John Wiley & Sons, 2005
- [4] WOOD L. Big LEO Tables [R/OL].[1999-08-17]. <http://personal.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/tables/tables.html>
- [5] Iridium Communications Inc. Iridium NEXT [R/OL]. <https://www.iridium.com/network/iridiumnext>
- [6] SELDING P B D. European Governments Boost Satcom Spending [N/OL]. SpaceNews, 2016. <http://spacenews.com/european-governments-boost-satcom-spending/>
- [7] DEL R E. A Satellite Mobile System Integrated with the Terrestrial Cellular Network[C]//Proceedings of the Communications, 1989 ICC'89, BOSTONICC/89, IEEE International Conference on. USA: IEEE, 1989: 223-227. DOI: 10.1109/ICC.1989.49697
- [8] European Commission. Integrated Space and Terrestrial Networks (COST-226) [R]. 2000
- [9] European Commission. Integrated Space and Terrestrial Mobile Networks (COST-227) [R]. 1994
- [10] SHRIFF R E, HU Y F, CHAN M, et al. SatNEx: A Network of Excellence Providing Training in Satellite Communications[C]//Proceedings of the Vehicular Technology Conference, 2005 VTC 2005-Spring 2005 IEEE 61<sup>st</sup>. USA: IEEE, 2005: 2668-2672. DOI: 10.1109/VETECS.2005.1543819
- [11] MARTINEZ R, DE D M C, EXPOSITO J. Satsix Project: A First Approach to IPv6 over Satellite Networks[C]//Proceedings of the Mobile and Wireless Communications Summit, 2007 16th IST. USA: IEEE, 2007: 1-4. DOI: 10.1109/ISTMWC.2007.4299257
- [12] PLASS S, RAULEFS R, FLEURY B, et al. Wireless Hybrid Enhanced Mobile Radio Estimators-WHERE[C]//Proceedings of the ICT Mobile and Wireless Communications Summit (ICT Summit 2008). Stockholm: Paul Cunningham and Miriam Cunningham

- (Eds), IIMC International Information Management Corporation, 2008
- [13] OLIVERIA A, SUN Z, MONIER M, et al. On Optimizing Hybrid ad-hoc and Satellite Networks—The MONET Approach[C]//Proceedings of the Future Network and Mobile Summit 2010. USA: IEEE, 2010: 1-8
- [14] BATS. About BATS [R/OL]. [2016-02-17].

## 作者简介



杨昕,英国萨里大学通信系统研究所在读博士研究生;主要研究方向为移动自组网、卫星通信、下一代通信网络等。



孙智立,英国萨里大学通信系统研究所教授、研究生分院主任;主要研究方向为卫星通信网络和未来互联网技术;作为项目负责人承担过15项欧盟科研框架项目、2项政府科研项目 and 1项欧洲空间局科研项目;发表论文200余篇,出版、编辑专著3部。



刘华峰,中国科学院软件研究所副研究员;主要研究方向为卫星网络和传感器网络;先后主持和参加多项相关领域的“863”和国家自然科学基金重大项目;获部委级科技进步奖二等奖1项,三等奖2项;发表论文20余篇,出版著作1部。



赵康健,南京大学电子科学与工程学院博士、讲师;主要研究方向为卫星通信与空间信息网络协议技术;主持或作为骨干参与国家自然科学基金、中国工程院重大咨询项目、江苏省自然科学基金等多项;发表论文20余篇。



杨子敬,航天恒星科技有限公司天地一体化信息技术国家重点实验室博士后、博士生导师、研究员;主要研究方向为空间信息网络、卫星通信系统、软件定义网络等。



苗晔,南京大学博士;主要研究方向为无线通信系统和卫星网络的路由协议优化和组网应用技术等;参与过多个欧盟项目;在国际期刊和会议上发表多篇论文。



Hatham Cruickshank,英国萨里大学通信系统研究所高级讲师;主要研究方向为网络用户信息安全、未来移动网络架构和卫星系统等;曾参与过多项英国、欧盟和欧洲空间局项目;发表论文135余篇。

## 综合信息

## 产业再造将推动VSAT市场规模增长近两倍

Strategy Analytics 研究报告《2015—2022年商业卫星通信网络的化合物半导体》指出,数据流量需求的不断增长将导致商业卫星通信网络所有相关要素在2020年数量增长近两倍。高级半导体应用服务总监 Eric Higham 表示,“小型卫星地面站(VSAT)产业正在向更高频率、更多星上处理和高通量卫星(HTS)不断迈进。氮化镓使这些新的能力成为可能,我们期待该技术的强劲增长”。

(转载自《C114中国通信网》)