



专题：海洋互联网

海洋互联网概述

刘军, 王凤豪

(吉林大学智慧海洋研究中心, 吉林 长春 130012)

摘要: 海洋互联网是互联网在海洋环境中的延伸。海洋互联网与现有陆地互联网有着很大的不同, 需要展开广泛和深入的研究。总结了海洋互联网中几种比较常见的网络结构, 并对其进行分类对比。现有的海洋互联网服务主要通过海事卫星提供, 介绍了岸基网、水声通信和水声网络在海洋自组网中的作用, 并将介绍如何将无线自组织网络技术应用到海洋互联网中, 如船舶自组网、航空自组网以及水下自组网等。从空中、水面、水下多个角度出发, 分析多种不同组网技术的优缺点、局限性以及未来的发展趋势, 并提出海洋互联网未来可能的组网策略。

关键词: 海洋互联网; 海事卫星; 水声通信; 自组网

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018198

Overview of marine internet

LIU Jun, WANG Fenghao

Smart Ocean Science and Technology Research Institute, Jilin University, Changchun 130012, China

Abstract: Marine internet is an extension of the internet in the marine environment. Marine internet is very different from the existing terrestrial internet and needs extensive and in-depth research. Several common network structures in the marine internet were summarized and compared. The existing marine internet services are mainly provided through maritime satellites. The role of shore-based networks, underwater acoustic communication and underwater acoustic networks in the Ad Hoc networks of the sea were introduced, and how to apply wireless Ad Hoc network technologies to the marine internet was introduced, such as ship Ad Hoc networks, aviation Ad Hoc networks and underwater Ad Hoc networks. From the multiple perspectives of air, water, and underwater, the advantages and disadvantages, limitations, and future development trends of many different networking technologies were analyzed, and possible future networking strategies for the marine internet were proposed.

Key words: marine internet, maritime satellite, underwater acoustic communication, Ad Hoc network

1 引言

随着海洋经济的迅猛发展、人类在海洋活动的日益增多以及对海洋保护和海洋安全意识的不断

提高, 迫切需要一种便捷、可靠、高速率、性价比合理的海洋互联网, 它能在海洋环境(包括水面和水下两部分)中提供熟知的互联网服务^[1]。但是, 海洋的特殊地理环境、气候条件以及用户

收稿日期: 2018-05-01; 修回日期: 2018-06-11



分布,使得现有陆地互联网技术无法直接应用到海洋环境中。海洋是一个巨大的盐水体,其总面积约为 3.6 亿平方千米,约占地球表面积的 71%,平均深度约达 3 795 m。因此,在海洋上搭建和维护网络设施是极其困难和昂贵的;而且,海洋的高湿度、频降水和频发的极端天气,不仅会影响超高频卫星通信的性能,而且会严重破坏网络设施,甚至导致网络的瘫痪;另外,相比于陆地互联网,海洋互联的用户密度相当低、分布极不均匀,且多数是临时性的用户,随船而动。这些特点严重影响投资效益。

陆地互联网几乎不需要考虑地下网络服务,而海洋互联网则需要为水下提供网络支持,以扩大水下网络(如水下物联网)的覆盖范围和服务能力。当前主要的水下通信技术基于水声,其传输速率低、传播时延大;而基于蓝绿激光的水下通信技术虽然能够提供很高的传输速率和极短的传播时延,但激光易被吸收且无法绕过障碍物,使其传输距离非常有限。这些都限制了单个高速率水下无线网络的覆盖范围,因而需要海洋互联网来连接不同的水下网络,以构成性能稳定、可大范围覆盖的水下系统。

目前,在海洋环境中被广泛使用的通信技术主要是基于甚高频(VHF)和超高频(UHF)的海事无线电,其最大覆盖范围约为 110 km,能提供语音和数字通信服务,是海上导航、航行安全、救援作业所不可缺少的通信平台。但由于带宽的限制(例如将 4 个 25 kHz VHF 海事无线电信道合成的数字信道,空中数据速率仅为 302.2 kbit/s)以及特定的应用背景,它无法满足许多普通互联网应用的需求。现在,海洋互联网服务主要通过卫星提供,但卫星系统在建造、发射和运营方面的成本高以及应用的技术相对滞后,这类网络服务不但性价比低,而且使用不方便,也无法有效支持水下通信。目前研究得比较多的是如何将无线自组织网络技术应用到海洋互联网中,如船舶

自组网、基于飞行器的机会网络以及水下自组网等。而这种网络的覆盖范围比较小,动态网络拓扑会破坏网络连通性和导致网络性能的不稳定。

各类网络技术都无法单独构成性价比高和使用方便的海洋互联网解决方案,将不同网络技术融合是一种可能的趋势,但目前国内外对海洋互联网的系统性研究相对滞后。

2 海洋互联网组网技术分类

海洋互联网技术随着研究环境的变化不断发展,呈现出很多不同的网络结构,本文将主要从以下几个网络结构展开分析总结。

2.1 以海事卫星为中心的组网

现在,海洋互联网服务主要通过海事卫星提供,海事卫星(InmarSat)通信系统由海事卫星、地面站、终端组成,目前的 4 个覆盖区为太平洋、印度洋、大西洋东区和大西洋西区,可提供南北纬 75°以内的遇险安全通信业务,可以提供海、陆、空全方位的移动卫星通信服务^[2]。海事卫星系统的推出,极大地改善了海事、航空领域通信的状况,因而得到迅速的发展。海事卫星使用 L 频段(带宽 15 MHz: 1 535~1 542.5 MHz、1 636.5~1 644 MHz),它的通信费用十分昂贵,很多用户不得不望而却步,但是由于在遇险安全通信业务等方面有着种种优点,在移动卫星通信中有着不可替代性,尤其是在突发事件应用中,保持行进中的视频图像、数据通信,海事卫星系统在国内外都占据首要地位。InmarSat FB(国际海事卫星从投入到运行至今,逐步推出了 A、B、C、F、FB 各个系统)系统功能参数见表 1。

InmarSat FB 业务是工作在第四代海事卫星上的最新一代船岸卫星通信系统,可以为船舶提供语音电话、按数据流量计费最高可达 432 kbit/s 的标准 IP 数据通信、最高可达 256 kbit/s 的 streaming IP 数据通信和 64 kbit/s ISDN、标准 3G 文本短信等多种船岸通信功能,真正实现了全

表 1 InmarSat FB 系统功能参数

功能	FB 150	FB 250	FB 500
覆盖	全球	全球	全球
语音	4 kbit/s AMBE+2	4 kbit/s AMBE+2 3.1 kHz 音频	4 kbit/s AMBE+2 3.1 kHz 音频
传真	无	3.1 kHz 音频信道 G3 传真	3.1 kHz 音频信道 G3 传真
手机短信	标准文本短信, 每条最多 160 字符		
电路交换数量	无	无	Euro ISDN: 64 kbit/s
标准 IP 数据	最高 150 kbit/s	最高 284 kbit/s	最高 432 kbit/s
streaming IP 数据	无	32、64、128 kbit/s	32、64、128、256 kbit/s
多连接同时在线	语音和数据、传真和数据、数据和数据、短信和数据		
接口	RJ-11, Ethernet/PoE	RJ-11, RJ45 ISDN, Ethernet/PoE	RJ-11, RJ45 ISDN, Ethernet/PoE

球宽带覆盖和船舶 24 h 多业务同时在线^[3]。

2.2 基于地面基站的组网

沿海岸边基站和岛屿岛礁基站在海洋互联网中必不可少, 是海洋互联网一个很好的通信设施补充, 移动通信网络应用于这些基站, 能够构建一个以地面基站为中心的岸基网络^[4]。

目前, 在海洋环境中被广泛使用的通信技术主要是基于甚高频 (VHF) 和超高频 (UHF) 的海事无线电, 其最大覆盖范围约为 110 km, 能提供语音和数字通信服务, 是海上导航、航行安全、救援作业所不可缺少的通信平台。但由于带宽的限制 (例如由 4 个 25 kHz VHF 海事无线电信道合成的数字信道, 空中数据速率仅为 302.2 kbit/s) 以及特定的应用背景, 它无法满足许多普通互联网应用的需求。目前给海事通信的总带宽: VHF 为 6.025 MHz、UHF 为 20 MHz。

可以考虑提高昂贵频谱资源的利用率, 在满足海洋互联网服务的同时, 也提高运营商的收益。目前移动通信技术主要有 3G 通信、4G 通信和正在研究的 5G 通信技术^[5]。将移动通信技术及相关应用用到岸基网络中, 形成新一代海事通信体系, 为近海用户提供陆地式的互联服务。未来海洋互联网的发展将会随着移动通信技术的更新而不断改进, 海洋互联网相关领域的发展将很大程度上依赖 5G 通信的技术的研究和发展。5G 通信技术实现后, 未来很有可能形成海上自组网和海洋互联网的

格局。一个岸基网络的基本构想如图 1 所示, 图 1 中, TBS 为陆基基站, VBS 为船载基站, T 指终端。

2.3 水声通信与水声网络

与陆地通信相同, 水下网络也分为无线通信和有线通信。水下网络环境恶劣, 建设和维护网络的难度、成本和风险更高。水下有线通信可以通过在海底铺设通信光缆和电缆, 它的优点是通信容量大、性能稳定、供电可靠、相对安全; 缺点是建设成本高、维护难, 很难大范围地立体铺设。由于电磁波在水下环境中传播衰减非常快, 所以水下无线通信只能将光和声作为传播介质, 并且主要通信介质是声波, 水下无线通信以水声通信为主, 以水下光通信为辅。但是声波作为水声通信的介质, 其带宽小、传播慢、不稳定等特性使得一些关键网络协议 (如介质访问控制协议、可靠传输协议及网络安全等) 的设计变得更加困难。在目前及将来的一段时间内, 水声通信是水下传感器网络中主要的水下无线通信方式^[6]。目前水声通信与水声网络的实际性能极大地偏离了人们从理论分析期望上所能达到的理想效果, 最主要的原因还在于声波在水下传播时所面临的实际信道情况远比人们通常所用的理论分析复杂, 如何克服多途干扰、时频和多普勒扩展、时变衰落, 是水声通信技术中需要重点解决的问题。

近年来, 高速率、高可靠性水声通信技术的发展, 使得水声网络逐渐成为一个研究热点。水

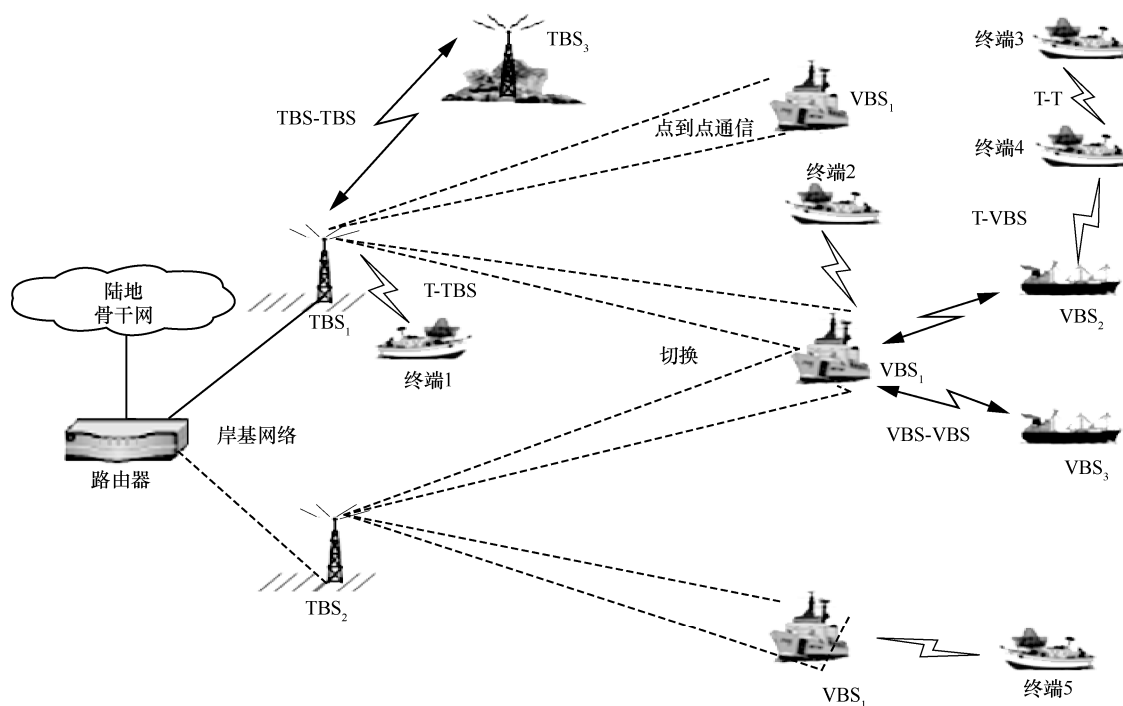


图1 岸基网络的基本构想

声网络的实现需要基于高可靠性点对点物理层水声通信技术,开展多网络节点组网,达到信息互通、共享的目的,同时通过无线浮标将上传的数据接入陆地上现有的立体信息网中,可形成真正意义上覆盖全球的立体信息网^[7]。

由于水声信道是难度最大的无线信道之一,所以水声网络的研究和发展面临着巨大的挑战,主要体现在以下几个方面。

- 受限的通信能力: 由于复杂的水声物理层以及多普勒效应和强多途等因素影响,水声网络的构建相对于陆地网络而言要困难很多。
- 网络通信效率低, 拓扑结构相对不稳定。
- 网络节点的能量受限: 由于网络节点工作在水下,节点的能量受到严重的限制,因此在系统的设计中还要尽量考虑节约资源。

由于以上种种因素,水声网络的规模往往受到严重的限制,以至于目前的水声网络并不能长期化、规模化,因此目前的研究还都仅仅停留在比较小的规模上。

2.4 基于 Ad Hoc 的航海自组网和航空自组网

Ad Hoc 最初起源于军事,主要用于在恶劣的战场环境下快速自动组网^[8]。后来逐渐应用于地震、水灾等突发事件的营救以及在移动蜂窝网络等方面发挥作用。目前对 Ad Hoc 技术的研究主要集中在针对使用网络拓扑的动态变化的路由协议上,目前已研究出的成果主要有 DSDV、WRP、AODV、DSR、TORA 等。

在跨洋航空通信中,通过卫星覆盖实现的天基网存在成本高、带宽有限、时延大等问题,地面基站网络又存在覆盖范围小、无法支持飞机跨海洋飞行的问题,航空自组网 (airborne Ad Hoc network) 应运而生。航空自组网是移动自组织网络 (MANet) 在航空通信领域的应用^[9]。航空自组网将移动自组织技术应用于飞行器之间,使得航空飞行器能够进行直接通信,为空中感知信息、空中交通管理等方面提供了新的技术手段。通过使用航空自组网技术,一定范围内的航空飞行器之间可以自动建立局部网络,网络中的飞行器节点之间可以多跳的方式控制指令、飞行状态信息

以及空情信息,无需借助地面控制中心或者卫星。航空自组网主要提供了空中交通控制服务、航线运营服务、乘客无线通信服务。特点是网络节点稀疏、网络规模比较大、网络拓扑高动态性、网络链路带宽受限、可靠性低。

同样,与航空自组网相似,航海自组网(navigation Ad Hoc network)是移动自组织网络在航海通信领域的应用。将 Ad Hoc 技术应用于航海自组网研究的最大优点是可以通过 Ad Hoc 通信比较及时地报告和监控船舶信息,不需要太快的数据传输就可以维持一个较大的网络时延限制。目前来说,最大的技术障碍在于海洋中船舶跨度很大,船舶在近海分布较为集中,而在远海领域则比较稀疏。

所以,在船舶分布密集区域采用 Ad Hoc 组网可能更好,而在船舶稀疏分布的远海,可以采用卫星、岛屿基站等方式组网。

同时未来随着跨洋航空自组网和航海自组网的发展,海洋中的船舶如何与飞行器之间通过中继节点成功连接进而交换数据是可能的考虑问题。

2.5 高空通信平台组网

高空平台通信系统(high attitude platform station, HAPS)将无线基站安放在长时间停留在高空的飞行器上来提供电信业务^[10],被认为是一种2008年以后有良好潜在应用价值的宽带无线接入手段。一般来说,HAPS的基站是飞行器,通常是飞艇。HAPS基站处于距地面20~50 km的平流层中,保持相对静止,基站之间通过光互连链路形成网络。覆盖半径可达100 km,主要取决于它的高度和仰角。只需较少的基站就可以完成广域覆盖。和卫星通信系统相比,HAPS具有高容量、高频谱利用率、时延小、路径损耗小、易维护、易升级、可迅速建设等优点。和地面通信系统相比,HAPS具有超大覆盖、低功率、易升级、可迅速建设等优点;另外,在发生地震等灾难时所受影响很小。

HAPS适合用于构建一个无线城域网。HAPS综合了地面无线系统和卫星系统的技术优点,理论上可以用少量的网络设施实现大区域和高密度覆盖,与地面无线系统需要土地进行站址建设和卫星系统需要发射卫星以及修建地面站截然不同,HAPS可以大幅度降低成本。

由于海洋的特殊地理环境及稀疏的用户,希望只需较少的基站就可以完成广域覆盖,同时考虑到HAPS的低成本。HAPS非常适于海洋互联网。虽然HAPS有很多优势,但是也有很多需要解决的问题,如飞行器构建材料、能量供给以及平台控制。

HAPS已经受到了国际上的广泛重视,目前,美国、日本、欧洲等国家和地区处于领先地位,各发达国家都在投巨资进行相应研究,而国内HAPS开展工作较为缓慢。中国是个海洋大国,特别是我国在南海诸岛等区域有着广阔的海域,我国应该积极研究跟踪国际上的动态,支持国际上深入研究HAPS的努力并逐步参与其中。未来海洋互联网的发展将在很大程度上依赖HAPS技术的研究和发展。HAPS技术成熟后,深海领域海洋互联网会迎来更好的发展。

3 未来海洋互联网可能的组网策略

到目前为止,无法找到能适应不同通信环境、满足各种应用需求的单个通信方式。所以电、光、声多模融合通信应该是个选项。单种类型网络也无法提供覆盖范围广、高性价比、能满足各种应用需求、稳定可靠的海洋互联网服务,超大规模多模协作型混合网络是个趋势,且无线应该主导^[11]。预期下一步的海洋互联网研究重点如下。

- 利用成熟的陆地移动通信网络等技术形成岸基网络,为近岸水域的用户提供无缝的海洋互联网服务,同时可以利用各种动态拓扑无线网络(如由船舶、浮标、直升机等组成的无线网络)来扩展岸基网络覆盖



范围。

- 水下采用无线（水声）自组织网络，再通过水面上的各种网络，还有海底观测网实现互联互通。
- 可以采用高空通信平台来满足特定场合的（临时性）特殊要求。
- 如何将无线自组网络技术应用到海洋互联网中可能成为未来研究的重点。
- 卫星作为最后选项（取决于卫星服务的性价比）。

希望未来的海洋互联网能够成为一个智能大黑箱，将各种网络有机地组合起来，使之紧密协作来满足各种应用要求。

4 结束语

本文结合国内外研究现状，分析了海洋互联网常见的多个网络结构，各类网络技术都无法单独构成性价比高和使用方便的海洋互联网解决方案，将不同网络技术融合是一种可能的趋势。目前国内外对海洋互联网的系统性研究相对滞后，如何将各种网络有机地组合起来，使之紧密协作来满足各种应用要求是未来海洋互联网研究的重点。

参考文献：

- [1] 刘大海, 葛佳敏, 李晓璇, 等. “互联网+海洋经济”的融合机制及实现路径研究[J]. 海洋经济, 2016, 6(2): 13-19.
LIU D H, GE J M, LI X X, et al. Integration mechanism and implementation path of “internet plus marine economy”[J]. Haiyang Jingji, 2016, 6(2): 13-19.
- [2] 李子木. 海事卫星系统发展及应用[J]. 无线电工程, 2009, 39(10): 8-10, 15.
LI Z M. Development and applications of Inmarsat system[J]. Radio Engineering of China, 2009, 39(10): 8-10, 15.
- [3] 石世怡. 关于 Inmarsat 海事卫星通信系统[J]. 广播电视信息, 2009(6): 83-85, 88.
SHI S Y. About Inmarsat maritime satellite communication system[J]. Radio & Television Information, 2009(6): 83-85, 88.
- [4] 王伟时. AIS 岸基网络方案的设想[J]. 航海技术, 2003(2): 17-18.

WANG W S. The assumption of AIS shoreline network scheme[J]. Marine Technology, 2003(2): 17-18.

- [5] 程日涛, 张海涛, 王乐. 5G 无线网部署策略[J]. 电信科学, 2018, 34(Z1): 1-8.
CHENG R T, ZHANG H T, WANG L. 5G wireless network deployment strategy [J]. Telecommunications Science, 2018, 34(Z1): 1-8.
- [6] 许肖梅. 水声通信与水声网络的发展与应用[J]. 声学技术, 2009, 28(6): 811-816.
XU X M. Development and applications of underwater acoustic communication and networks[J]. Technical Acoustics, 2009, 28(6): 811-816.
- [7] 郑君杰. 水声通信网络问题研究[J]. 电信科学, 2009, 25(10): 63-66.
ZHENG J J. Research on underwater acoustic communication network problems[J]. Telecommunications Science, 2009, 25(10): 63-66.
- [8] 张程. 移动自组网的关键技术研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2010.
ZHANG C. Research on key technologies of mobile ad hoc networks[D]. Chongqing: Chongqing University, 2010.
- [9] 郑博, 张衡阳, 黄国策, 等. 航空自组网的现状与发展[J]. 电信科学, 2011, 27(5): 38-47.
ZHENG B, ZHANG H Y, HUANG G C, et al. The status and development of aviation ad hoc networks[J]. Telecommunications Science, 2011, 27(5): 38-47.
- [10] DAVEY L, BUTLER R, BUCHANAN R, et al. High altitude platform stations for Australia[J]. Telecommunications Journal of Australia, 2008, 58(2/3).
- [11] JIANG S M. A possible development of marine internet: a large scale cooperative heterogeneous wireless network[J]. Journal of Communication & Computer, 2015(12): 199-211.

[作者简介]



刘军（1979—），男，博士，吉林大学智慧海洋研究中心副主任、博士生导师，主要研究方向为水下载感器网络、嵌入式网络系统、智慧海洋技术、水下载感器技术。



王凤豪（1995—），男，吉林大学智慧海洋研究中心硕士生，主要研究方向为智慧海洋。