



专题：海洋互联网

海洋互联网的战略战术与挑战

姜胜明

(上海海事大学信息工程学院, 上海 201306)

摘要: 海洋互联网 (marine internet) 是陆地互联网在海洋环境 (水下、水面、空中) 中的延伸, 其重要性不言而喻。然而, 陆地与海洋之间的巨大差异使得陆地互联网无法直接无缝地扩展到海洋环境中, 并导致一些成熟的网络研究思路和设计方法变得不适用。简要讨论海洋互联网的战略意义、现状以及实现它的战术思路 and 面临的主要挑战。

关键词: 陆地互联网; 海洋互联网; 海洋物联网; 水下物联网; 水声网络

中图分类号: TN929.5

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2018193

Marine internet: strategies, tactics and challenges

JIANG Shengming

College of Information Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 210306, China

Abstract: The marine internet is an extension of the terrestrial internet in the marine environment (underwater, water and air) and its importance is self-evident. However, the huge differences between land and sea make it impossible for the terrestrial internet to directly and seamlessly expand into the marine environment, and lead to some mature network research ideas and design methods becoming inapplicable. The strategic significance, status quo, tactics and major challenges of the marine internet were discussed briefly.

Key words: terrestrial internet, marine internet, marine internet of things, underwater internet of things, underwater acoustic network

1 引言

互联网 (internet) 已成为当今社会各项活动不可缺少的重要平台; 但是互联网服务在占地球面积 71% 的海洋中还没有得到普及应用, 严重影响到海洋经济的发展、海洋国防及其他安全系统

的建设和运作。目前在海洋中, 互联网服务 (“海洋互联网服务”, 代码 1623^[1]) 主要通过卫星网提供, 不但价格贵且传输速率低, 也无法有效支持水下通信。海洋互联网 (marine internet) 试图将陆地互联网尽量无缝地延伸到海洋中, 覆盖水下、水面和空中^[2-5], 能成为空天地海一体化系统和海

收稿日期: 2018-05-01; 修回日期: 2018-06-09

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61472237, No.U1701265)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61472237, No.U1701265)

洋物联网的实现平台。海洋互联网中的许多节点可能是民间或商用的,它们能够与其他特殊节点(如海底观察网、军舰等)一起构成一个覆盖面更广和更顽健的海洋通信网络,所以对海洋互联网的进一步开发和利用符合军民融合的思想,具有一定的战略意义。然而,由于陆地与海洋之间在地理环境、气候条件和用户分布特征等方面存在着巨大差异,陆地互联网不能无缝地延伸到海洋中,也使得一些成熟的网络研究设计的概念和方法变得不适用。本文简要讨论海洋互联网的战略意义、现状和实现它的战术思路及所面临的主要挑战。

2 战略意义

如今在陆地上,人们几乎可以随时随地通过各种终端,如手提电脑和智能手机,享用通过互联网所提供的各种服务,也可以通过互联网将分布在不同地方的物体链接起来,形成物联网(internet of things)。然而,由于陆地与海洋之间的巨大差异,陆地互联网不能无缝扩展到海洋环境中。这些区别主要反映在地理环境、气候条件和用户分布特征等几个方面^[6]。

随着人类在海洋环境中活动的日益增加,迫切需要一种便捷、可靠、速率高、性价比合理并能覆盖水下、水面和空中的海洋互联网。它可以为海员、渔民、邮轮/游艇乘客以及海岛军民等提供网络服务,使其能在海洋环境中享用不间断的互联网服务。同时也能为海洋经济的发展和国防建设提供支撑。例如海洋运输和离岸石油生产等,可通过海洋互联网进行实时数据更新、生产管理和远程监控等;也可以通过海洋互联网及时向陆上高性能计算机中心传输大量数据,进行快速处理分析,并将结果迅速反馈给海上用户,这些服务对海洋探测及其他海洋科研活动都非常重要^[4-6]。

例如在海洋生态环境监测方面,目前已有大

量的传感器部署在水下,且数量仍在增加,所以有大量的数据需要收集和处理。但现在主要的水下通信技术是基于水声,传输速率低、传输时延长且通信能耗大^[7];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,但激光易被水吸收且无法绕过障碍物,使其传输距离非常有限;因此,目前单个水下无线网络有效覆盖面积小。海洋互联网可以用来连接处在不同位置的水下无线网络,构成覆盖范围大和高性能的水下监测系统,并使其与其他网络互联,形成水下物联网^[8]。

海洋互联网还可以用于海上国防及其他水域(如港口、航道等)安全系统的建设。我国海洋面积约300万平方千米,大陆海岸线18000余千米,岛屿有6000多个。海洋互联网可以将它们连接起来,实现互联互通,同时,也可让敏感保密通信隐蔽在大量的海洋互联网的通信中。如下文所述,海洋互联网的设计理念是利用一切可以利用的通信资源进行组网,但又不依赖于任何一种特定的网络进行运作,所以它具有很强的生存能力,使之成为战备网络的一部分,即在预先建好的网络瘫痪而无法运作的情况下,海洋互联网可以成为最后一线希望。

3 现状分析

海洋是一个13亿立方千米的巨大盐水体,平均深度达3682m,覆盖了地球表面的71%。在海洋上搭建陆用网络设施是极其困难和昂贵的;而且,海洋气候条件特殊,如高湿度、频发的降水和极端天气,都会降低超高频卫星通信的性能,破坏网络设施。另外,海洋互联用户多数是临时性的,密度相当低且分布极不均匀。这是由于海洋面积是陆地的2.5倍,且大部分是无人区,而用户一般是随船(如能容纳几百至上千人的邮轮)而动的。这些特点将严重影响投资效益。

下面简要总结一下目前可能用于海洋互联网



的主要网络技术。

(1) 海事无线电

海事无线电 (maritime radio system) 是在海洋环境中被广泛使用的通信技术。它主要包括海洋甚高频无线电 (very high frequency, VHF) 和卫星通信系统。传统上它主要支持音频通信, 后来部分 VHF 信道用来支持低速率的数据传输, 如 VDL (VHF data link)。VDL 是船舶自动认证系统 (automatic identification system, AIS) 的通信平台。AIS 能自动跟踪船舶, 为导航和避撞提供相关信息。目前我国沿海共有 AIS 岸台 375 座, 其中东海海区有 158 个。随着 AIS 应用的不断扩大, VDL 的通信容量已经无法满足这一需求, VDES (VHF data enhanced system) 被研发。它通过合并传统的 VHF 信道, 形成带宽为 100 kHz、空中数据速率为 307.2 kbit/s 的信道。详细情况见表 1。另外, 超高频 (ultra high frequency, UHF) 中, 也有 6 个波段被用于船舶通信。

由于海事通信的总带宽非常有限, 已无法满足海事通导本身的需求。而常用的 Wi-Fi 速率可达 54 Mbit/s, 3G 手机的上行速率可达 1.8 Mbit/s, 4G 为 5 Mbit/s, 所以, VHF 无法满足很多互联网应用的需求。

(2) 移动蜂窝网络

现代移动蜂窝网络 (mobile cellular network) 技术, 例如 WiMAX 和 LTE 已经被应用到港区和

繁忙航道中来为这些区域提供互联网接入服务。它们能提供可高达几百 Mbit/s 的传输速率, 最大覆盖半径 (R) 可达上百千米。例如, 华为 eWBB LTE 能覆盖 $R=100$ km, 提供 50 Mbit/s 和 100 Mbit/s 的上行和下行传输速率。但在海洋中, 单个基站或接入点 (access point, AP) 的覆盖范围太小, 又无法大规模地架设它们。例如, 仅沿海岸线部署 (全球海岸线长度 $L=356\,000$ km) 上述基站, 总的覆盖面积可估算如下: $L \times R = 3.62 \times 10^8 \text{ km}^2$, 占海洋总面积的 9.83%^[9]。

(3) 卫星网络

卫星网络 (satellite network) 的发展要远远早于互联网, 但是其用户数要远远少于互联网用户数, 主要原因是性价比低, 不易得到普及。根据卫星轨道的高度 (H), 可以将卫星分为静地轨道卫星 (GEO, $H=35\,786$ km)、中轨道卫星 (MEO, $3\,000 \text{ km} \leq H < 35\,786 \text{ km}$) 和低轨道卫星 (LEO, $200 \text{ km} \leq H < 30\,000 \text{ km}$)^[5,9]。

GEO 的位置相对于地面观察者是不变的, 其轨道周期为 24 h; 理论上, 3 个卫星可以覆盖除两极以外的其他地球表面。国际海事卫星组织利用 GEO 提供以下服务: 声音、IP 数据以及全球海上遇险和安全系统 (GMDSS)^[5,9]。然而, 经过 GEO 的地面基站之间的信号传输时延已达 250 ms, 这几乎是语音通信端到端时延限值的两倍; 如加上通信和网络处理时延, 整个端到端时延高达约 750 ms。

表 1 主要海事通信技术 (1 海里=1.852 km)

名称	带宽/kHz	速率/(kbit·s ⁻¹)	距离/海里	主要应用	频段/MHz
VHF	200	13	30~50	语音	156~174
VHF-DSC	0.3	1.2	20~30	GMDSS	155.5~159.5/160.6~163.5
VDL		9.6		AIS	
VDES	25、50、100	76.8、153.6、307.2	50	数字通信	156.012 5~157.437 5, 160.612 5~162.037 5
HF	2~3	2.4	500~1 500		2~30
SSB	2.8				1.605~27.5
NEVTE	0.17	0.1	400	GMDSS	

而 TCP 的重传时延一般设在 650 ms 左右^[10], 严重影响 TCP 和服务质量保障协议的性能。

LEO 已在全球星 (GlobalStar)^[11]和铱星系统 (Iridium)^[12]中被用来降低传输时延。由于 LEO 相对于地面高速转动, 很难使用定向天线来实现高质量的无线通信。当船舶在海面上波动前行时, 须安装一个复杂的卫星追踪系统。卫星采用以下频段: L-频段 (1~2 GHz)、C-频段 (4~8 GHz)、Ku-频段 (19 GHz) 和 Ka-频段 (29 GHz)^[13]。其中 Ku-频段和 Ka-频段的通信非常容易受到水分以及各种形式降水的影响, 而这些都是海洋中常见的现象。此外, 因为电磁波不能很好地在水下传播, 卫星不能有效地支持水下通信。

卫星的制造、发射、运行和维护的成本高, 对一个在轨卫星的硬件升级和维修几乎意味着整个卫星的更换; 另外, 高轨道卫星的长距离通信有很高的信号衰减, 必须使用体积庞大、功率大的终端设备; 所以卫星互联网的性价比很低。表 2 列出了目前市场上的几种由卫星所提供的互联网服务 (2017 年 2 月数据)。

(4) 无线自组网

无线自组网 (wireless Ad Hoc network, WANet) 不依赖网络基础设施, 终端间就可以直接通信。它的自组织和自愈能力使得它容易适应动态和不稳定的网络环境, 能在海洋互联网中得到充分应用。它可以利用一切配备通信功能的船舶和设施 (如浮标) 自组网络, 使得船舶之间和船岸之间可以进行通信。相类似的研究包括海事自组织网络 (maritime Ad Hoc network)^[14]、海事网状网络 (maritime mesh network)^[15]、航海自组

织网络 (nautical Ad Hoc network, NANet)^[16]和船舶自组织网络 (ship Ad Hoc network)^[17]等。除此之外, 还可利用空中任何运载工具, 如气球、飞艇、直升机和民航飞机等, 形成一个航空无线自组织网络 (aeronautical Ad Hoc network, AANet)^[18]来提供机会网络; NANet 结合 AANet 可以覆盖更大的水域, 提供更多的网络机会; 另外, 水下无线自组织网络 (underwater Ad Hoc network, UANet)^[19]无需建立水下网络设施, 可用来连接水下无人航行器和传感器等设备。

无线自组织网络覆盖范围小, 信道容量和质量不可靠, 动态拓扑使端到端连通性能不稳定, 其性能很大程度上取决于网络节点的密度和分布, 但它们都是高度动态变化的。所以, 它无法保证不间断的网络连接和可靠的网络服务, 而这对海上安全和海事应急救援是至关重要的^[5,9]。

(5) 传感器网络

海洋中有很多传感器网络 (sensor network), 如水声传感器网络、海底观测网、海洋预报台和海洋遥感系统等。水声传感器网络主要基于无线自组网, 海洋遥感系统经常使用卫星, 海洋预报台有岸基设施和网络。海底观测网以海底通信光纤和电缆为基础, 其通信容量大、性能稳定、供电可靠且相对安全, 但建设成本高、维护难度大, 很难大范围地在海洋中铺建。

目前这些网络系统主要以数据通信为主, 而且专一和相互独立, 无法满足互联网的要求。如果它们开放界面并连接在一起, 可形成海洋物联网; 它们也可成为海洋互联网的一部分, 共同提供互联网服务。

表 2 后付费式铱星的互联网服务 (OpenPort airtime)

套餐名称	月租费/美元	数据流量/MB	每 MB 单价/美元	每分钟起价/美元
计划价值 (value plan)	49	0	13.6	0.95
组合计划 (combo plan)	≥69	5~1 500	0.97~13.80	0.20~0.81
定制包 (custom bundle)	≥110	10~5 000	0.47~9.9	0.95



4 战术思路

上述任何一种网络都不能成为一个高性价比、覆盖范围广和方便使用的海洋互联网解决方案，主要原因总结如下：到目前为止，无法找到一个能适应不同通信环境、满足各种应用需求的通信方式，所以电、光、声多模融合通信是一个选择；目前两个极端网络（即卫星网络和海底观测网络）建设和维护成本太高，中间型网络（如移动通信网络和自组织网络）在海洋环境中无法单独成气候。在这种情况下，需要将不同网络融合在一起，形成超大规模多模协作的混合网络，且无线网络占主导地位^[9]。

图1展示了根据这一思路构成的海洋互联网^[9]，主要由基于移动通信网络的岸基网络、高空通信平台^[20]和不同形式的无线自组织网络及卫星等组成^[9]，运作如下^[6,9]。

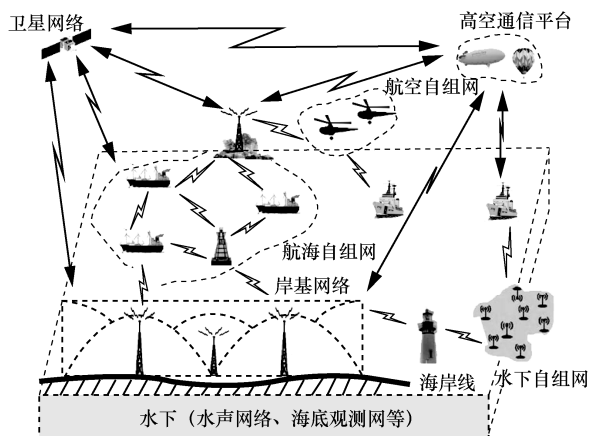


图1 一个基于不同网络技术的海洋互联网服务系统^[6,9]

- 利用陆地移动通信技术（含集群通信）及带宽构建岸基网络，为近岸水域的用户提供无缝互联网服务。例如，利用 4G 带宽（100 MHz）以及现有 AIS 基础设施，构建岸基网络，并形成新一代海事通信技系统，在提供海洋互联网服务的同时，也能提高运营商的收益^[21]。同时，新的通信技术，如 RoF（radio over fiber），可以不断

地用来提高岸基网络的性能。海洋虽大，但大多数在海洋中的人类活动发生在沿岸海域^[5]。

- 利用各种动态拓扑无线网络来扩展岸基网络的覆盖范围，利用各种机会网络来提供机会性网络服务。例如直升机（群）和民航飞机的地空宽带所提供的机会性数据传输。
- 采用高空通信平台来满足临时性的特殊要求。它能几乎静止地处在离地面大约 17 km 以上的平流层，覆盖半径可达 100 km。它有比卫星大得多的通信容量，下行链路数据速率可达 320 Mbit/s（频段 28 GHz，带宽 50 MHz，高度 10 km 以上）。
- 卫星作为最后选项，主要用来保障大范围的应急和救援通信。这种状况的改变将取决于卫星服务的性价比的变化以及用户的承受能力。
- 水下采用无线（水声）自组网，通过水面上的各种网络和海底观测网实现互联，扩大水下网络的覆盖范围，并组建海洋物联网。

5 主要挑战

如何能使不同网络有机地融合在一起并高效协作，形成一个可根据网络状况和变化趋势以及应用要求来实时调整网络组合的海洋互联网是个巨大的挑战，这涉及海洋互联网的网络架构和网络容量模型等基本问题^[5]。当性价比合适的卫星网络服务没有普及时，海洋互联网服务不可避免地依赖机会网络；如何让来自不同国家和地区的用户进行有效协作以最大化数据传输的机会，在协作中如何鉴别各自的身份（尤其是在无法与中心取得联系的情况下）和确保数据的安全也是一大挑战。

水下网络问题更复杂，解决难度也更大。这是由于水下通信网络环境恶劣，建设和维护

的难度、成本和风险更高。目前水下的主要通信介质是声波,其容量小、传播慢、不稳定等特性使得一些关键网络协议的设计变得更加困难。复杂的水声信号传播环境(如多径传播、变化的噪声环境和传播速度以及信道的非对称性)使得信道呈现时空变化性,影响信号接收性能;大功耗和有限能量供应使得能效成为网络的一个关键因素;缺乏保护及不易照看的水下环境使得网络安全变得十分重要但又十分困难。例如,介质访问控制协议的最终目的是让共享同一通信介质的用户能最大化公平使用介质,其关键是接收方能成功收到发给它的数据。无线网络常用的做法是让数据的发送方来安排发送时间,错开不同发送方数据到达同一接收点的时间,以避免冲突。上述方法的运行条件是信号传播时延或不同节点之间传播时延之间的差异可以忽略不计。但该条件在水声网络中无法成立,产生“时空不确定性”^[22]。

6 结束语

海洋互联网不仅能支持海洋经济、环境保护和科研等活动,也有利于海上国防和安全系统的建设。但对它的系统性研究才刚刚开始,其系统的复杂性和网络管理的难度之大远超现有的网络系统,要完成这样巨大的系统工程需要多方协作以及国家的支持。

参考文献:

- [1] 国家海洋局. 中华人民共和国海洋行业标准: HY/T-130-2010[S]. 2010.
SOA. Marine industry standards: HY/T-130-2010[S]. 2010.
- [2] 姜胜明. 海洋互联网技术展望大会特邀报告[R]. 2012.
JIANG S M. Marine internet technology outlook conference invited report[R]. 2012.
- [3] 姜胜明. 海洋互联网的现状及挑战[R]. 2013.
JIANG S M. Marine internet status and challenges[R]. 2013.
- [4] JIANG S M. On marine internet and its potential applications for underwater internetworking[C]//The Eighth ACM International Conference on Underwater Networks and Systems, November 11-13, 2013, Kaohsiung, Taiwan, China. New York: ACM Press, 2013.
- [5] 姜胜明. 海洋互联网的开放式网络架构的基本理论研究[R]. 2018.
JIANG S M. Basic theory research of open internet architecture of ocean internet[R]. 2018.
- [6] 姜胜明, 周亮, 王晓峰. 一种海洋互联网系统与方法: 201310296258.6[P]. 2017-07-27.
JIANG S M, ZHOU L, WANG X F. Ocean internet system and method: 201310296258.6[P]. 2017-07-27.
- [7] BASAGNI S, CONTI M, GIORDANO S, et al. Advances in underwater acoustic networking, in mobile ad hoc networking: cutting edge directions, second edition[M]. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2013.
- [8] DOMINGO M C. An overview of the internet of underwater things[J]. Journal Network & Computer Applications, 2012(35): 1879-1890.
- [9] JIANG S M. A possible development of marine internet: a large scale cooperative heterogeneous wireless network[C]//The International Conference on Next Generation Wired/Wireless Networking (NEW2AN), Aug 26-28, 2015, Saint-Petersburg, Russia. Berlin: Springer, 2015.
- [10] HANBALI A, ALTMAN E, NAIN P. A survey of TCP over ad hoc networks[J]. IEEE Communication Surveys & Tutorials, 2005, 7(3): 22-36.
- [11] LUCE G C. Globalstar[M]. Saarbrücken: Alpha Script Publishing.
- [12] VENKATESAN R, MUTHIAH M A, RAMESH K, et al. Satellite communication systems for ocean observational platforms: societal importance and challenges[J]. Journal of Ocean Technology, 2013, 8(3).
- [13] CHINI P, GIAMBENE G, KOTA S. A survey on mobile satellite systems [J]. International Journal of Satellite Communications and Networking, 2010, 28(1): 29-57.
- [14] LAARHUIS J H. MaritimeManet: mobile ad-hoc networking at sea[C]//International Waterside Security Conference (WSS), Nov 3-5, 2010, Carrara, Italy. Piscataway: IEEE Press, 2010.
- [15] PATHMASUNTHARAM J S, KONG P Y, ZHOU M T, et al. TRITON: high speed maritime mesh networks[C]//IEEE Symposium on Personal, Indoor & Mobile Radio Communications (PIMRC), Sep 15-18, 2008, Cannes, France. Piscataway: IEEE Press, 2008: 1-5.
- [16] KIM Y B, KIM J H, WANG Y P, et al. Application scenarios of nautical ad-hoc network for maritime communications[C]//MTS/IEEE Biloxi-Marine Technology for Our Future: Global and Local Challenges, Oct 26-29, 2009, Biloxi, MS, USA. Piscataway: IEEE Press, 2009: 1-4.
- [17] LAMBRINOS L, DJOUVAS C. Creating a maritime wireless



- mesh infrastructure for real-time applications[C]//IEEE GLOBECOM Workshops, Dec 5-9, 2011, Houston, TX, USA. Piscataway: IEEE Press, 2011: 529-532.
- [18] KARRAS K, KYRITSIS T, AMIRFEIZ M, et al. Aeronautical mobile ad hoc networks[C]//European Wireless Conference (EW), Jun 22-25, 2008, Prague, Hungary. Piscataway: IEEE Press, 2008.
- [19] KONG J J, CUI J H, WU D P, et al. Building underwater ad-hoc networks and sensor networks for large scale real-time aquatic applications[C]//IEEE MILCOM, Oct 17-20, 2005, Atlantic City, NJ, USA. Piscataway: IEEE Press, 2005: 1535-1541.
- [20] TOZER T C, GRACE D. High-altitude platforms for wireless communications[J]. Electronics & Communication Engineering Journal, 2001, 13(3): 127-137.
- [21] JIANG S M. Fostering marine internet with advanced maritime radio system using spectrums of cellular networks[C]//IEEE ICCS, Dec 14-16, 2016, Shenzhen, China. Piscataway: IEEE Press, 2016: 1-6.
- [22] JIANG S M. State-of-the-art medium access control (MAC) protocols for underwater acoustic wireless networks: a survey based on A MAC reference model[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2018, 20(1): 96-131.

[作者简介]



姜胜明（1964-），男，博士，上海海事大学信息工程学院院长、教授、博士生导师，长期从事通信网络结构、协议和算法等方面的研究工作。作为核心骨干成员参与了国家“973”计划和“863”计划项目，编写全英文专著两部（Springer 出版），获得国家发明专利 9 项，发表论文 150 多篇。曾被评为华南理工大学首届“我最喜爱的导师”，获选首届上海“千人计划”创新人才，担任第 11 届 IEEE 国际通信系统会议（ICCS 2008）组委会主席及 30 多个国际学术会议技术程序委员会（TPC）成员以及《International Journal of Distributed Sensor Networks》编辑。