



专题：海洋物联网

面向海工装备智能化的海洋异构物联网架构

付振华¹, 李杰², 季飞², 余华²

(1. 广东省国土资源测绘院, 广东 广州 510500; 2. 华南理工大学电子与信息学院, 广东 广州 510641)

摘要: 海洋工程装备正向智能化、信息化方向发展, 对海洋工程装备、海上作业平台的状态安全监控及环境监测技术提出了更高的要求。提出了一种面向海工装备智能化的海洋异构物联网架构, 基于水声通信、海上无线通信及智能网关和云平台实现海上作业装备及平台的远程监控与在线监测。介绍了网络架构的主要模块、关键技术及主要挑战。该网络架构可为基于物联网实现海工设备的远程诊断, 最终实现全方位智能化提供借鉴与参考。

关键词: 海洋物联网; 海洋工程; 水声通信; 智能网关

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021150

Architecture of a heterogeneous marine internet of things for intelligent offshore engineering

FU Zhenhua¹, LI Jie², JI Fei², YU Hua²

1. Surveying and Mapping Institute Lands and Resource Department of Guangdong Province, Guangzhou 510500, China

2. School of Electronic and Information Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China

Abstract: With the development of the offshore engineering towards intelligence and informatization, the safety and environmental monitoring technology is demanding for offshore operating platforms. A heterogeneous marine IoT architecture for the intelligent offshore engineering was proposed. The network was based on underwater acoustic communication technology, marine radio wireless communication, intelligent gateway and cloud platform to realize remote and online monitoring offshore engineering and platforms. The main modules, and some of the key technologies and challenges involved in the network were introduced. The network architecture can provide a reference for the realization of an intelligent offshore engineering equipment and platforms.

Key words: marine internet of things, offshore engineering, underwater acoustic communications, intelligent gateway

收稿日期: 2021-06-10; 修回日期: 2021-07-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.U1701265); 广东省自然资源厅广东省海洋经济发展专项资金重点项目 (No.GDNRC[2020]009)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.U1701265), Key Program of Marine Economy Development Specific Fund of Promote High-quality Economic Development of Guangdong Province (No.GDNRC[2020]009)

1 引言

随着人类海洋活动的加强,海洋工程正从浅水装备和海洋工程辅助船建造向深海装备进军。例如在海洋油气资源开采工程方面,浅海所发现的油田往往比较小,油气资源容易枯竭,而深海和超深海的油气资源可以进行长期可持续开采。而据中国海洋工程装备网统计,未来十年全球海上钻井平台总需求量为 702 座,其中深海钻井平台 450 座,占比 64.1%。同时,全球有超过 110 座浅海半潜式钻井平台即将退役。深海资源开采工程平台的快速发展,对海上及水下平台作业安全监控及环境监测装备技术提出了更高的要求,深海海洋工程装备施工和作业的复杂性、危险性,都急切地需要海洋工程装备向智能化发展,即利用海洋信息化手段,实现装备与平台实时监测、分析成像以及智能管控^[1-2]。

随着海洋战略的发展,近期国际局势紧张,我国海上重要工程设施(如海洋油气、钻井平台、跨海大桥、沿海核电、远海岛礁、港口码头、水电大坝等),面临的安全防护与警戒问题也越来越突出,特别是来自水下的安全威胁。这些安全威胁既包括海洋生物或异物的入侵,也包括有目的的军事打击。尤其是南海西沙群岛附近的 981 座钻井平台,经常无端受到周边国家政府、民间极端组织的骚扰和破坏^[3],手段包括武装船只、蛙人、小型航行器等。针对海上重要基础设施的安全防护,迫切需要海洋信息化手段,实现海上重要基础设施的实时探测、监测与安全预警分析。

在“工业 4.0”发展大背景下,发展海洋物联网是实现海洋工程装备向智能化发展的基础,发展海洋物联网是实现船舶与海洋工程装备向智能化发展的基础,也是实现海上重要基础设施安全防护的重要手段,但目前海洋物联网的发展主要存在以下 3 个挑战^[1-2]。

- 海洋信息传输必须通过非常特殊的海水介

质。海水介质的随机时空变特性,尤其在特殊的海洋环境条件(海流、内波、海浪、潮汐、海冰、台风等),给海洋信息传输提出了很高的技术要求。

- 海洋物联网涵盖海洋通信系统(基于无线电)和水下声学网络。但目前广泛应用的海洋通信系统(包括海上无线电通信、海洋卫星通信和岸基移动通信),只能基本满足海事活动的常规通信需求,并且通信系统各有特点,适应于不同的场景,缺乏协同通信与异构网络管理机制,并不能很好地支持海洋物联网的需求。
- 水下声学通信系统未得到广泛商用,而且价格昂贵,水下监测数据的回传与上传,大部分仍依赖于有线(电缆或光缆)或定期回收。这些都严重制约了船舶与海洋工程装备智能化发展的进程。

针对海工装备发展的需求和挑战,本文提出了一种面向海工装备智能化的海洋异构物联网架构,并介绍了该架构各主要组成模块可实现的功能、关键技术和主要挑战。

2 面向海工装备智能化的海洋异构物联网

2.1 网络架构

面向海工装备智能化的海洋异构物联网架构如图 1 所示。海工装备传感器包括水上传感器与水下传感器。水下传感器节点通过声通信将信息传送到海上中继节点(如浮标中继节点、无人船中继节点等),水上传感器与海上中继节点通过无线网桥、ZigBee、海上电台等组成传感子网,数据汇聚至作业母船(或海上作业平台、岛基等)上的传感子网网关。这类传感子网可能有多个,如视频监控子网、环境参数监测子网、设备状态传感子网等。一部分传感数据会在本地进行处理,另一部分传感数据则需要通过互联网网关中的卫星与岸基蜂窝移动网络通道接入互联网。

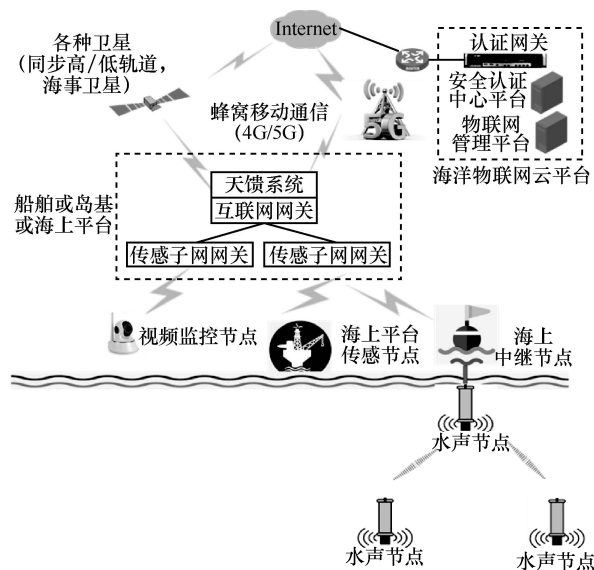


图1 面向海工装备智能化的海洋异构物联网架构

海洋物联网云平台负责实现对物联网数据接入的安全认证、设备在线监测的可视化、传感数据分析、预警告警与故障诊断等。

2.2 主要功能模块

2.2.1 水下传感与通信模块

水下传感与通信模块架构如图2所示,为了实现海工装备水下监测信息的汇聚与传输,网络通过水面中继节点实现水下数据的转发。水面中继节点具备水声通信和无线电通信的双模式,并带有GPS定位模块,承担跨介质信息传输的功能。该中继节点可以依附于海上浮标、水上无人艇或作业母船等,面向水下,通过水声通信信道收集水下传感器的数据,面向水上无线电,通过ZigBee、Wi-Fi、无线网桥、海上电台等方式接入船基传感子网智能网关,然后再通过船基互联网网关接入海洋物联网平台。

水下信息传输与组网技术是该模块的关键。由于电磁波在海水中衰减很快,声波是目前唯一能在水下实现远距离无线传输的载体,声学通信在军事领域已得到了广泛应用,在民用领域的应用正逐年增加。但深海和浅海洋声信道的复杂性和时变性、水下操作困难等,使得水下节点的通信能力严重受限,主要的技术挑战包括以下3种。

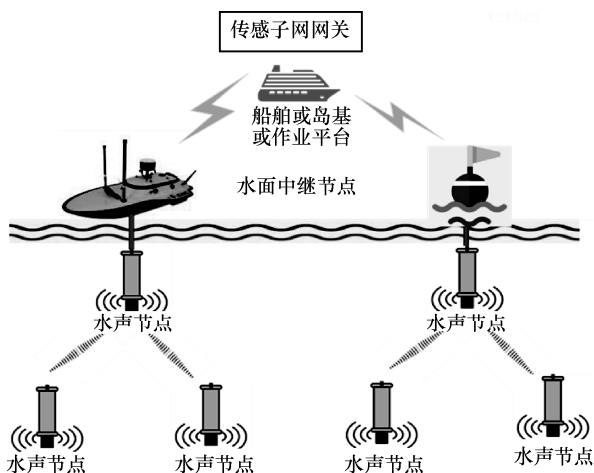


图2 水下传感与通信模块架构

(1) 区别于陆地无线通信,水声信道的可用带宽极其有限,因此传输速率也比较小,且随着传输距离而变化。目前业界典型的商用水声通信机的带宽只能达到几千赫兹,通信速率的量级仅为几千比特每秒,而且可靠性难以保证^[4]。

(2) 水声传播速率慢,因此水声链路时延大;水声节点因海洋环境作用具有高动态且容易出现故障或短暂失效,导致了网络节点不稳定,使得水声网络拓扑具有高动态性;水下节点使用电池供电,能量资源严重受限,这些特点均对水声网络协议设计带来了挑战^[5-6]。目前商用产品的水声通信机最多提供网络接口,需要第三方自行开发网络功能。

(3) 水声通信还存在某些不能连通的区域,虽然水下的接收端处于通信范围内,声线也有很大的可能不能到达,导致节点间通信失败。

2.2.2 海上多源异构网络通信模块

海上多源异构网络通信模块架构如图3所示,为了实现海上通信的广域覆盖,目前广泛应用的海洋通信系统包括海洋卫星通信以及岸基移动通信^[7-8],其中岸基移动通信覆盖近海约30 km,中远海则采用卫星通信。因此船级网络是一个异构网络,这对网关功能提出较高要求:船基互联网网关需自动根据当前的具备通信网络条件和设定的策略,选择移动通信网络或卫星通信作为链路。

由于不同的卫星链路费用会有较大的差异,网关需根据业务内容和优先级别,采用相应的流量限制方式进行通信成本控制,以性价比最高的方式将船上的数据接入海洋物联网平台。该模块还配备传感子网智能网关,为本地传感器网络提供多模(支持 ZigBee、Wi-Fi、3G/4G)无线通信组网方式。

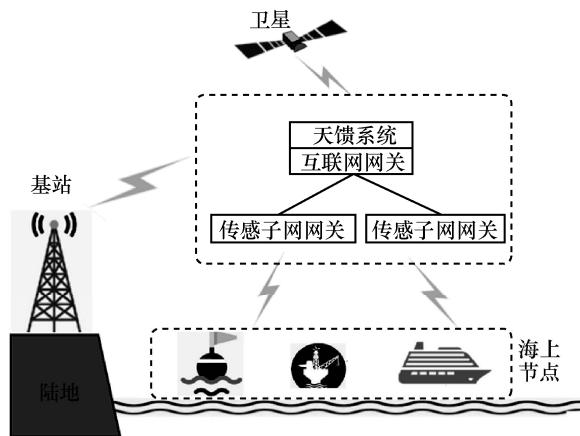


图3 海上多源异构网络通信模块架构

智能网关的设计为该模块的关键技术之一。智能网关为海洋传感子网连接提供网络通信、协议转换、数据存储、边缘计算、完整的 RF 和安全认证,其主要的技术挑战包括以下 2 种。

(1) 由于海洋环境条件多变,无线通信手段会根据不同应用场景采用不同的物理层协议,同时采集的信息量多样,包括开关量信号、模拟量信号、连续波形、视频信息等,造成采用的应用层协议也有所不同。因此智能网关必须支持多种异构物理链路(如 Wi-Fi、ZigBee、Sub-1G 等)互联互通,同时也应支持多种应用层协议(如 Modbus、ProFibus^[9]、MQTT^[10]、视频协议等)的解析和信息转换,以实现数据的互联互通。

(2) 由于海洋物联网连接的设备较多,而且通信网络具有一定的不稳定性,如果所有信息处理都交由云端后台进行处理,会加大云端资源的耗费,且响应不及时,不能满足用户某些特定要求快速处理的需求场景,因此智能网关必须具备边缘计算能力以及部分数据存储能力^[11],通过边

缘计算,许多控制将通过本地设备实现而无须交由云端,处理过程将在本地边缘计算层完成。这无疑将大大提升处理效率,减轻云端的负荷。由于更加靠近用户,还可为用户提供更快的响应,将需求在边缘端解决。

2.2.3 海洋物联网认证与管理云平台模块

海工装备监测数据需通过互联网接入海洋物联网平台,处理满足用户各类需求。为了实现认证计费与安全接入,需部署宽带认证计费接入网关,与船端卫星网关配合,用于船端、人员、设备的安全认证和接入控制,该模块的架构如图 4 所示。平台为海洋设备提供数据采集功能及终端设备安全接入功能,实现对服务于海工装备旋转类机械的数据分析、故障诊断及可视化展示。平台基本功能的实现需要可靠的海洋网络通信支持,包括水面上的卫星、移动通信以及水下的水声通信。但平台的数据统计分析能力将为选择性价比更高的网络架构和协议提供数据支撑。

物联网管理云平台在技术设计上,可基于当前成熟可靠的云架构(Spring Cloud)+后台框架(Spring Boot)+前端框架(Angular/React)技术体系,打造一个完整和现代的 Web 应用程序或服务架构。在该技术体系架构下,基于 Spring Boot 框架的服务端,具备高性能和高可用的 Java 技术栈;基于 Angular、React 和 Bootstrap 的时尚、现代、移动优先的前端;基于 SAAF Registry、Netflix OSS、ELK 堆栈和 Docker 的强大的微服务架构;使用 Yeoman、Webpack 和 Maven/Gradle 构建应用程序的强大工作流程。

2.3 应用实践

基于所述物联网架构的应用实践如图 5 所示。在调查船只的发动机及淡水泵安装了震动传感器(如图 5(b)、(c)所示),用来检测设备的运行状况。传感器配备无线通信功能,与船载传感子网网关相连,然后通过海事卫星将监测数据传回陆地基站;陆地基站通过物联网管理云平台对远程

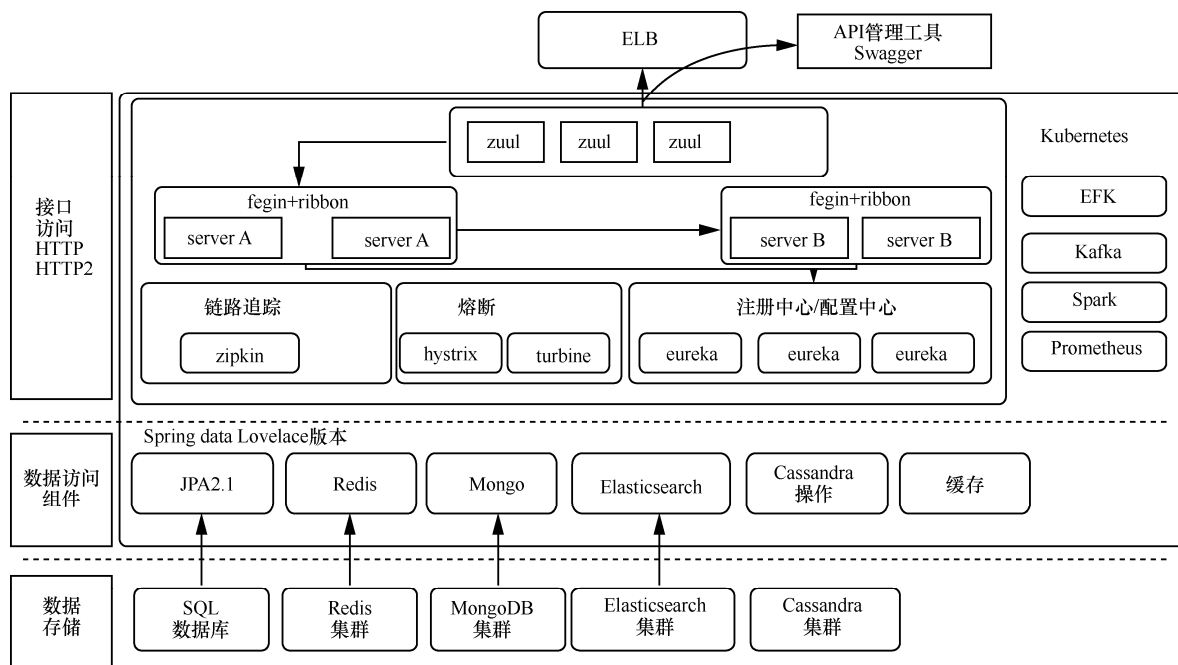


图4 海洋物联网管理云平台技术架构

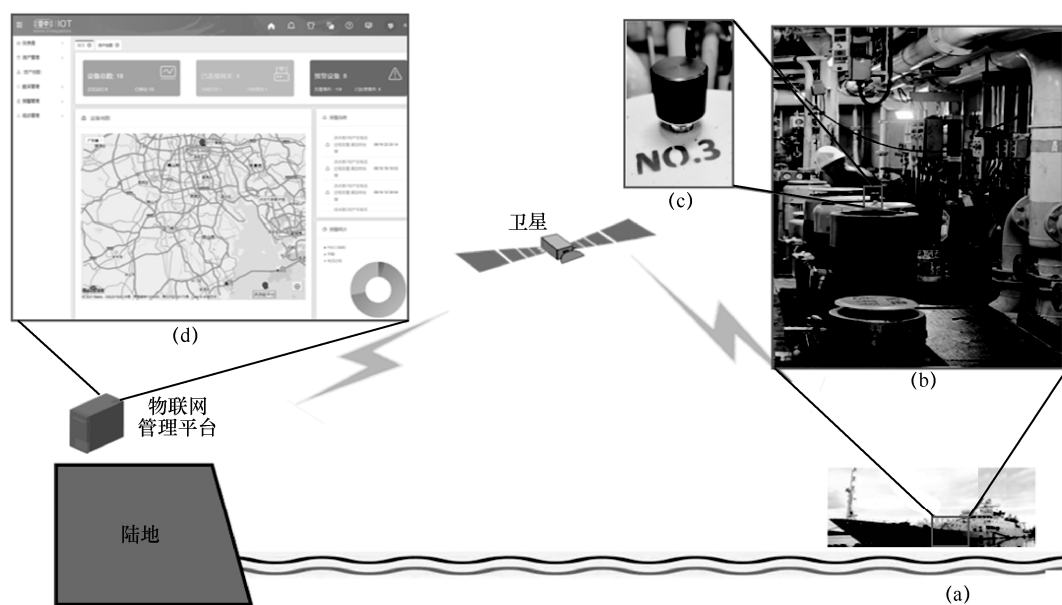


图5 海洋物联网应用实践系统

的传感器进行管理和监控（管理页面如图5（d）所示），包括设备连接情况、监测预警情况等信息。该系统已平稳运行约半年时间，初步验证了所提出网络架构的有效性。

3 结束语

海工装备环境与状态监控的研发是促进海工

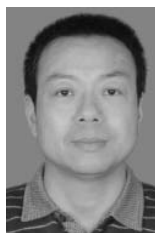
装备与平台制造与使用自动化智能化的重要支撑，未来海洋工程装备将呈现水下装备广泛应用的趋势。本文提出的服务于海工平台智能监控的海洋物联网平台架构，融合水声、卫星及其他海洋通信方式，可实现水下、水上装备与平台监控数据的传输、数据接入的安全认证、设备在线监测的可视化、传感数据分析、预警告警与故障诊

断等。本文还讨论了网络架构所涉及模块的关键技术, 为未来基于该架构的网络应用提供参考。

参考文献:

- [1] 姜胜明. 海洋互联网的战略战术与挑战[J]. 电信科学, 2018, 34(6): 2-8.
JIANG S M. Marine Internet: strategies, tactics and challenges[J]. Telecommunications Science, 2018, 34(6): 2-8.
- [2] DOMINGO M C. An overview of the Internet of underwater things[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2012, 35(6): 1879-1890.
- [3] 孙凯, 吴昊. 关于构建中国海洋话语权的思考: 以南海“981”钻井平台事件为例[J]. 中国海洋大学学报(社会科学版), 2017(1): 23-29.
SUN K, WU H. Reflections on the construction of China's maritime discourse power: a case study of the “981” drilling platform conflict in the South China sea[J]. Journal of Ocean University of China (Social Sciences), 2017(1): 23-29.
- [4] JIANG S. On reliable data transfer in underwater acoustic networks: a survey from networking perspective[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2018, 20(2): 1036-1055.
- [5] AL HANBALI A, ALTMAN E, NAIN P. A survey of TCP over Ad Hoc networks[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2005, 7(3): 22-36.
- [6] JIANG S M. State-of-the-art medium access control (MAC) protocols for underwater acoustic networks: a survey based on a MAC reference model[J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2018, 20(1): 96-131.
- [7] 冯伟, 唐睿, 葛宁. 星地协同智能海洋通信网络发展展望[J]. 电信科学, 2020, 36(10): 1-11.
FENG W, TANG R, GE N. Perspectives on coordinated satellite-terrestrial intelligent maritime communication network[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(10): 1-11.
- [8] WEI T, FENG W, CHEN Y F, et al. Hybrid satellite-terrestrial communication networks for the maritime Internet of things: key technologies, opportunities, and challenges[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2021, 8(11): 8910-8934.
- [9] 金红, 蒋存波, 陈小琴. 一种 MODBUS: ProFiBus 节点通信控制与协议转换模块设计[J]. 计算机测量与控制, 2011, 19(8): 1922-1924, 1931.
JIN H, JIANG C B, CHEN X Q. A design of the communication control and protocol conversion module of the MODBUS-ProFiBus nodes[J]. Computer Measurement & Control, 2011, 19(8): 1922-1924, 1931.
- [10] 侯敏, 刘倩, 杨华勇, 等. 基于 MQTT 协议的海洋观测数据推送系统[J]. 计算机工程与应用, 2019, 55(20): 227-231.
HOU M, LIU Q, YANG H Y, et al. Data push system of marine observation based on MQTT protocol[J]. Computer Engineering and Applications, 2019, 55(20): 227-231.
- [11] 周旭, 李泰新, 覃毅芳, 等. 基于边缘智能协同的天地一体化信息网络研究[J]. 电信科学, 2020, 36(7): 71-79.
ZHOU X, LI T X, QIN Y F, et al. Research on future space-ground integrated information network based on edge-intelligence collaborative[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(7): 71-79.

[作者简介]



付振华 (1971-), 男, 广东省国土资源测绘院高级工程师, 主要研究方向为海洋测绘。



李杰 (1984-), 男, 博士, 华南理工大学电子与信息学院副研究员, 主要研究方向为无线通信、水声通信与探测等。



季飞 (1970-), 女, 博士, 华南理工大学电子与信息学院教授, 主要研究方向为 5G 通信、绿色网络、水声通信、水下传感器网络、水声探测等。



余华 (1973-), 男, 博士, 华南理工大学电子与信息学院教授, 主要研究方向为无线通信、水声通信、海事通信物理层传输技术, 空海地一体化网络, 水下定位与探测等。