

# 基于事件驱动的船载智能信息平台架构设计

邱伯华<sup>1,2</sup>, 张羽<sup>1,2\*</sup>, 魏慕恒<sup>1,2</sup>

1. 中国船舶工业系统工程研究院海洋智能技术创新中心, 北京 100036

2. 震兑工业智能科技有限公司, 深圳 518101

**摘要** 现有船载信息平台受限于设备接口限制、数据标准等问题, 民用船舶信息平台的发展缓慢, 难以处理复杂数据和多任务。智能船研制过程中, 传统的船载信息平台在架构上的不足使其难以支撑船舶在复杂工作场景下的分析任务。提出了一种基于事件驱动的船载信息平台架构设计方案, 根据“感知-认知-决策-控制”的闭环, 针对智能功能完成了事件流程建模, 提高了随机、不确定事件的处理效率, 降低了系统耦合度, 使信息平台能够提升任务处理能力并降低硬件资源需求。

**关键词** 事件驱动; 智能船舶; 信息平台; 架构设计

21世纪以来, 现代船舶的大型化和技术的复杂程度使得船员对船舶的控制和管理难度增大, 远洋船舶常在海面航行数十日, 跨越近20个时区, 船员们很难适应这种时差变化, 身心俱疲, 因而容易发生事故。根据国际海事组织(IMO)统计, 超过80%的海事事故全部或部分是由人的因素造成的。因此, 降低船舶控制和管理难度、减少人为误操作、提高船舶营运的安全性是航运企业首要考虑的问题。另外, 船舶设备的状态对营运的安全性和效率有着直接影响, 由于船员经验缺乏, 监测手段不足, 使得船舶营运者无法掌握设备的健康

状态信息, 容易造成维修不及时和补给不及时, 船东容易遭受由于设备故障和滞留带来的损失。

面对这些困境, 船舶的智能化提供了很好的解决方案, 通过机器自主学习手段, 让船舶学会“思考”, 通过全船智能感知融合、自主评估与决策、船岸一体化与面向全寿命周期等能力形成, 在航运业持续低迷、运营成本居高不下的背景下, 可以保证航行安全、提高运输效率, 让船东“省钱、省力、省心”<sup>[1]</sup>。在中国首条智能船“大智号”上搭载智能船舶运行与维护系统(SOMS), 从信息物理系统(cy-

收稿日期: 2020-04-16; 修回日期: 2020-08-14

基金项目: 智能船舶1.0研发专项(工信部联装函[2016]544号)

作者简介: 邱伯华, 研究员, 研究方向为CPS、智能船舶系统设计与应用, 电子信箱: qiubh99@vip.sina.com; 张羽(通信作者), 工程师, 研究方向为智能船舶、工业智能认知与综合管控系统, 电子信箱: feather100@foxmail.com

引用格式: 邱伯华, 张羽, 魏慕恒. 基于事件驱动的船载智能信息平台架构设计[J]. 科技导报, 2020, 38(21): 83-90; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2020.21.010

ber physical systems, CPS)及应用入手,在充分利用已有船舶设备的监测信息及少量新增专用传感器的基础上,通过针对数据的挖掘与分析,对装备当前及未来状态进行量化评估,并结合运营用户的决策活动需求,从而实现“精确设备”到“精确信息”的转变与应用<sup>[2]</sup>,为不同层次用户的使用、维修、管理等活动提供科学的决策支持,被英国劳氏船级社和中国船级社授予智能传播符号<sup>[3]</sup>。

在实现船舶智能化过程中,车载信息平台起到了重要作用,充当了“大脑”的角色。现有通用船舶综合平台管理系统多采用数据总线架构,目标是在一个开放的平台管理网络基础上完成各项管理任务<sup>[4]</sup>,而车载信息平台更多定位于进行数据交换和业务系统运行的平台,以信息为重点,采用层次化结构设计<sup>[5]</sup>。车载智能信息平台则增加了智能任务处理的功能。以SOMS系统为例,该系统采用“平台+应用”的架构,包括智能信息平台、健康管理应用和能效管理应用。智能信息平台与传统信息平台相比,最大的变化是引入了人基于CPS的认知能力和决策能力,是由环境、过程、状态(或状况)、指令等不同层级、不同系统、不同设备的事件或事件群驱动的,调动可用资源,执行自感知-自记忆-自认知-自决策-自重构任务,使不断出现的问题得以及时解决。认知和决策的过程与传统船舶信息面向数据、面向设备的工作方式发生了很大的变化,如何高效处理认知决策事件是智能信息平台架构设计的关键。

事件驱动架构设计能够防止事务堆积,在工业物联网中有良好的表现。基于此,在车载智能信息平台中引入事件驱动架构,使认知和决策过程中的事件生产者与消费者完全分开(图1),实现完全解耦,且彼此透明<sup>[6]</sup>,为平台之上的智能应用提供所需要的数据、信息、知识和模型,促使程序响应更敏捷,从而提升信息平台任务处理能力并降低硬件资源需求。

## 1 研究背景

国外如韩国智能船计划逐渐兴起,这对中国造

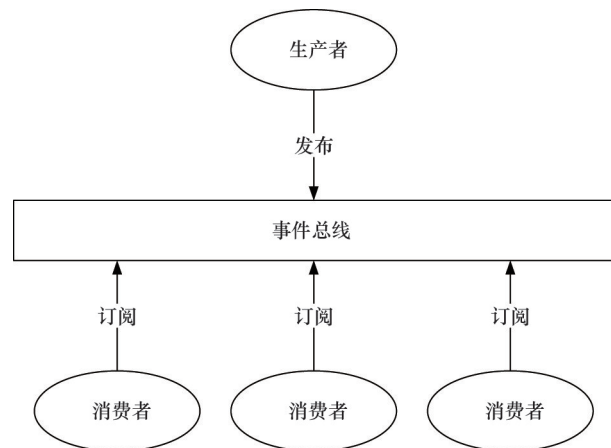


图1 事件驱动架构

船业带来压力;同时,作为世界第一大造船大国和航运大国的中国,如何在发挥制造业主场优势和船舶使用者的数据优势,构建具备中国船舶行业特色的船舶智能体系,制造出真正意义上的“智能船”,抢占智能化潮流的制高点,正是船舶业由“大”变“强”的关键所在。

在中国智能船研制过程中,智能系统总体采用“平台+应用”的架构,其中智能信息平台通过集合全船的综合状态、环境与活动信息,以工业大数据分析为手段,构建了以机器自主学习能力形成为目标的船舶CPS技术体系。应用部分重点关注船舶运行的安全性、经济性、高效性,目的是保障船舶安全、提高船舶能效,减少设备自身或人为因素造成的安全事故、燃油消耗,提供基于本船自身数据分析的运维优化方案、降低运营成本,并通过岸海一体服务能力,向用户提供从集控室、驾驶室到航运公司总部实现无缝信息交流与协同管理的可能性。

船舶设备信息化水平的快速发展带来了船员工作上的便利,同时也产生了大量的感知数据。海量感知数据具有数据规模大、数据格式异构、数据来源多样等特点。随着认知决策功能的引入,数据处理流程越发复杂,数据处理建模难度也随之提高。而传统的数据总线和SOA的架构难以在资源有限的海事计算机上支撑智能系统认知决策的流程,因此需要引入工业物联网事件驱动的概念,重构智能信息平台的系统架构。

## 2 关键技术和组件

### 1) 事件驱动架构。

一个事件驱动框架(EDA)定义了一个设计和实现一个应用系统的方法学,在这个系统中,事件可传输于松散耦合的组件和服务之间。一个典型的事件驱动系统由事件消费者和事件产生者组成。事件消费者向事件管理器订阅事件,事件产生者向事件管理器发布事件。当事件管理器从事件产生者那接收到一个事件时,事件管理把这个事件转送给相应的事件消费者。如果这个事件消费者是不可用的,事件管理者将保留这个事件,一段间隔之后再次转送该事件消费者。这种事件传送方法在基于消息的系统里是储存(store)和转送(forward)<sup>[7]</sup>。

### 2) 基于轻量化消息系统的事件队列。

ZeroMQ 是一个轻量化的消息系统,提供跨传输协议的通信支持,速度快,运行效率高,资源需求低,并且能够轻松对接很多编程语言,能在包括海事计算机嵌入式系统在内的很多操作系统上运行。

ZeroEQ 是基于 ZeroMQ 开发的一个跨平台的事件队列,用于发布和订阅事件。应用程序使用 ZeroMQ 进行通信,通过集成的 ZeroConf 协议或使用主机名和端口的显式寻址自动发现彼此。定义的词汇表定义了由 ZeroBuf 提供或使用简单的序列化发布事件接口<sup>[8]</sup>。

## 3 设计原则

智能信息平台是实现船舶智能化的核心,是满足对智能系统各项应用功能兼容性、开放性和安全性要求的必要基础。因此,智能信息平台的设计需要围绕3个方面展开。

### 1) 全船信息集成与融合。

信息是船舶智能化建设的基础,为了解决当前船舶应用系统各自独立、信息分散、管理混乱的问题,智能信息平台首先要进行全船信息集成<sup>[9]</sup>,通过信息标准化处理与清洗技术,研究制定并形成一套智能船舶的信息标准,构建数据共享分析平台,提供统一、适应多船型的信息服务,实现全船信息

的融合。

### 2) 智能思维能力搭建。

简单的数据罗列和堆砌并不能产生价值,为了解决数据到知识的转化问题,信息物理系统(CPS)适时而生<sup>[10]</sup>,通过 CPS 技术,构建全船 CPS 数据模型,实现船舶设备、系统、活动以及海洋环境到 Cyber 空间的映射,形成一个物理空间与赛博空间相互映射、实时交互、高效协同的系统<sup>[11]</sup>,形成智能数据分析与认知能力,能够逐步进行针对船舶全生命周期的预测与推演拓展,构建核心智能分析与思维基本能力。

### 3) 智能控制扩展支持。

智能信息平台不仅需要为当前的智能船舶提供支撑和服务能力,具备针对各类现有主流系统与新增智能系统应用的兼容性,同时要为介入控制以及后续达成“自主控制”<sup>[12]</sup>提供支撑,提前做好顶层设计、预置控制接口、预留升级能力,实现面向智能控制的扩展性,为最终实现进一步的智能船舶打下牢固基础。

## 4 设计思路

### 4.1 智能信息平台需求分析

智能信息平台需要在设计原则的约束下,完成传统信息平台对数据集成和应用集成的要求,同时还要补充智能化相关的认知与决策能力。

智能信息平台的功能架构包括了数据中心、认知中心、决策中心和集成框架等部分(图2)。其中数据中心实现全船的数据存储与融合,集成框架支撑各类智能应用的集成能力,而认知中心和决策中心用来完成 CPS 核心的认知决策能力部分。

### 4.2 EPC 事件驱动过程链

EPC 事件驱动<sup>[13]</sup>过程链作为一种用来建立企业流程管理过程的建模方法,它把事件驱动形式加入到了流程建模中,可以恰当地对应现实中存在的流程模型。EPC 中有两个主要元素,一个是功能,另一个是事件。

功能可以被事件触发,也可以产生事件。建模后流程模型由功能和事件构成,二者交替出现,彼

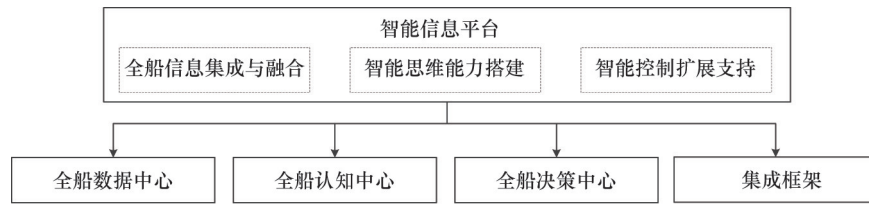


图2 智能信息平台功能需求

此链接。通过功能和事件这两个元素只能建立简单直接的流程模型,想要控制流程的并发连接、分支选择和聚合连接,需要用到EPC中的逻辑运算符,例如与、或、异或运算等。通过简单逻辑运算符的相互组合,可以构成非常复杂的逻辑来应对需要建立的复杂流程模型。

### 4.3 面向认知决策流程的事件驱动建模

基于智能信息平台的功能架构,根据“感知-认知-决策-控制”的闭环,围绕车载智能信息平台的4个模块进行事件流程的建模。

在智能船舶业务场景中,一个事件流程中网络平台、船岸一体和航行系统作为数据源,通过不同的通信协议为智能信息平台提供数据支撑,是事件的支撑层。各个智能应用完成各自特殊任务需求的智能分析决策并于用户进行交互,是事件的发起者。数据中心通过数据的融合清洗,使用ZeroMQ与各个模块完成数据交互。认知中心、决策中心作为事件的处理方,提供智能应用所需要的算法和模型,使用ZeroEQ交互。各个模块最终形成了面向认知决策的事件流程模型(图3)。

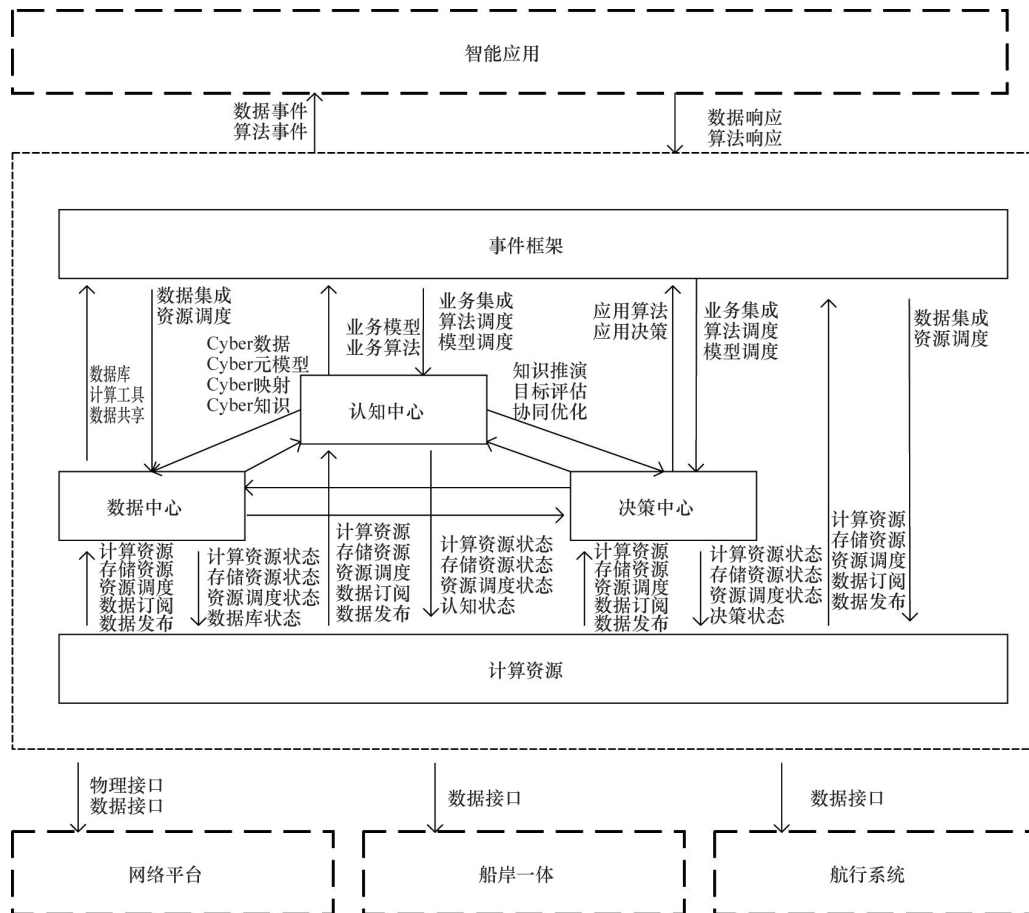


图3 信息平台事件流程建模

## 5 架构设计与原理样机测试

### 5.1 事件处理框架设计

在认知和决策分析时,工况数据(例如某些异常数据)既是“数据”又是“事件”,基于ZeroMQ和ZeroEQ的天然亲和性,可以顺利地完数据、事件之间的转换、订阅和发布。

事件驱动框架包括事件发生器、事件队列、事

件中介和事件处理器,各个环节最终形成的事件驱动框架设计如图4所示。其中,事件发生器对接智能应用系统,用于识别并生成事件;事件队列用来处理多系统并发的请求;事件中介处理整体流程,可以将事件推送给指定的事件处理器,并将处理结果作为新的事件传递给下一个事件处理器;认知决策中心的数据分析、数据预警、趋势越策和终端参与不同任务和不同环节的事件处理器。

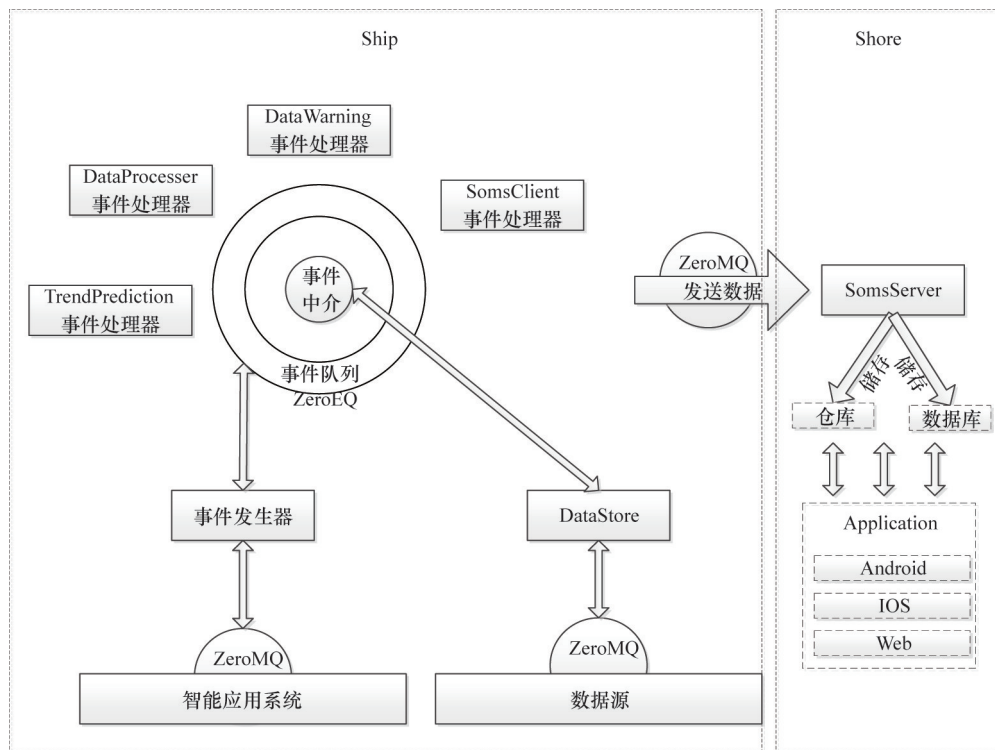


图4 基于ZeroMQ和ZeroEQ的事件驱动框架设计

### 5.2 平台整体架构设计

针对智能信息平台功能要求以及技术特点,结合船载信息平台的硬件配置和工作环境,在全局考虑数据安全、网络安全和信息安全的基础上,完成了船载智能信息平台的功能需求分析、事件流程建模和事件处理框架设计,最终完成的平台架构设计如图5所示。

底层网络平台完成全船数据测点的上网;计算资源层包括全船分布式的海事计算机和数据中心服务器;事件框架支撑信息平台及其上的智能系统生产、分发和处理在运行过程中的所有事件;数据

中心、认知中心和决策中心完成CPS智能辅助决策所需要的数据、算法、模型相关任务;最后通过集成框架完成平台与各个智能应用之间的数据集成和应用集成。

### 5.3 原理样机测试

基于事件驱动的船载智能信息平台完成原理样机研制后,由第三方测试机构对其进行了测试。

测试的性能指标包括智能分析能力,即不考虑岸海通信前提下,在模拟仿真并结合实船数据条件下,船基智能信息平台系统完成关键辅助决策(影响安全类的辅助决策)平均响应时间小于10 ms,



图5 基于事件驱动的船载智能信息平台架构

完成非关键辅助决策平均响应时间小于100 ms。

测试环境与实船环境保持一致,其中被测软件部署于服务器1、服务器2中,服务器中安装配置库、实时库、历史库、应用机、算法机、通信机、通信机2等虚拟机;智能信息网络平台部署于计算机5,用于获取智能信息平台集成全船信息,测试终端机中安装JMeter软件,用于进行异常报文的模拟,具体环境示意如图6所示。

测试所用到的测试数据包括航行参数、气象数据、机舱数据、报警信息和TCP/UDP/FTP数据均为真实的实船运营数据,数据提供单位均为中国船舶工业系统工程研究院。

关于智能分析性能指标的测试方法,模拟在线用户为50、访问关键辅助决策接口url时,平均响应时间2 ms,符合平均响应时间小于10 ms。通过压力测试,若响应时间为10 ms,最大支持1000个用户在线访问;访问非关键辅助决策接口url时,平均响应时间为2 ms,符合平均响应时间小于100 ms。通过压力测试,若平均响应时间为100 ms,最大支持1020个用户在线访问。

测试结论,受试的船载智能信息平台原理样机达到了研制要求中的性能要求,任务处理能力得到提升。

## 6 结论

目前,基于事件驱动的船载智能信息平台已经完成原理样机和工程样机的研制,并于2018年起先后在4条VLCC、VLCC船舶开始了营运验证。在营运验证阶段,信息平台及事件驱动框架表现良好,承载了船舶2000余个数据测点,支撑了航行、能效、运维、货管等智能应用系统的数据事件、算法事件的运转,大大提升了船舶智能系统“平台+应用”体系的效率,降低了智能系统对海事计算机资源的要求,达到了现阶段智能系统总体以“辅助决策”为目标的研制要求。

未来,智能船不会止步于“辅助决策”,随着船舶“无人化、远程化、自主化”的需求日益增加,船舶智能信息平台会“介入控制”,通过控制算法的加入,对于船载智能信息平台的要求也会越来越高,

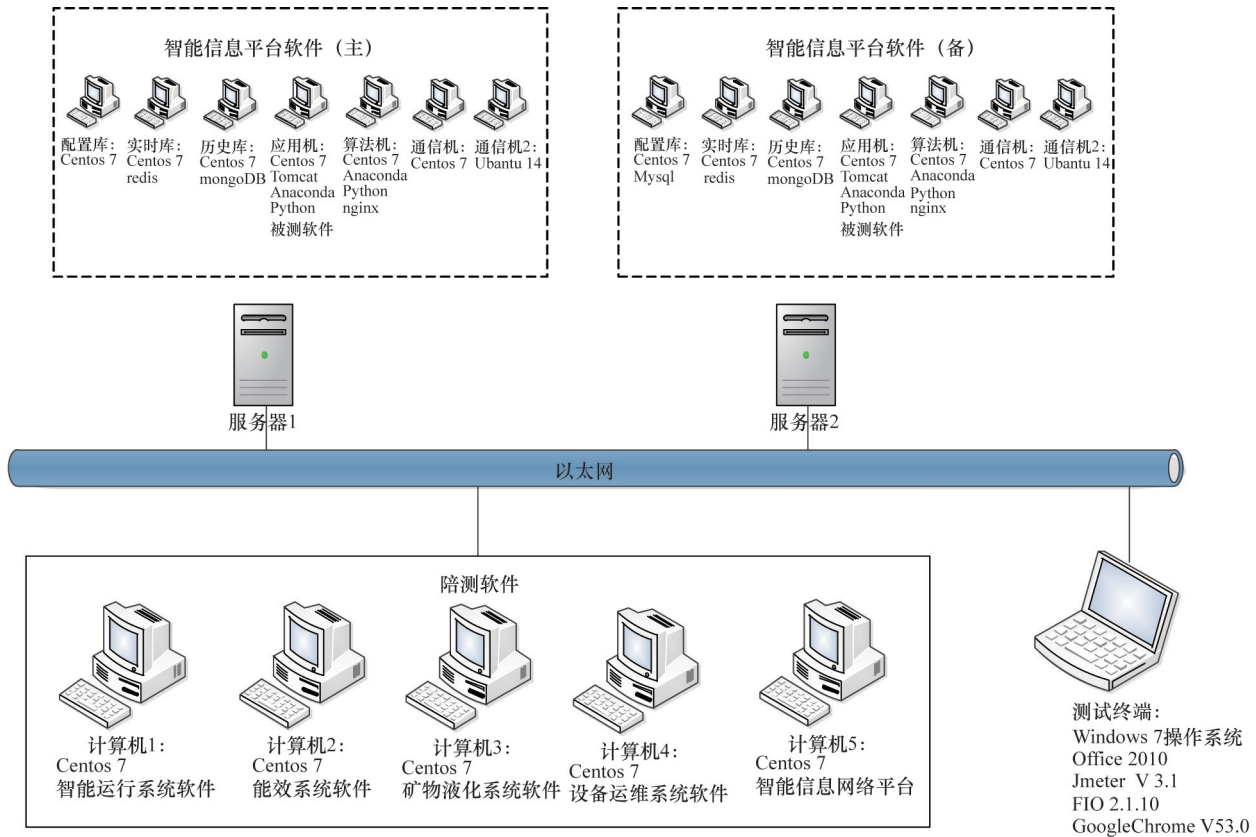


图6 测试环境

可以预见,伴随人工智能技术在智能船的应用,5G、AI芯片上船,船舶智能信息平台以及认知能力和复杂任务处理能力会不断突破,而对于架构的探索和实践也将持续开展下去,最终会成为船舶的“综合认知与管控系统”,成为智能船舶真正会思考会行动的“大脑”。

#### 参考文献(References)

- [1] 邱伯华, 张玉峰, 魏慕恒, 等. “大智号”, 智慧领航[J]. 科技纵览, 2018(2): 66-69.
- [2] 王思佳. 船舶智能化研究新逻辑[J]. 中国船检, 2019(6): 53-56.
- [3] 李杰, 邱伯华, 刘宗长, 等. CPS: 新一代工业智能[M]. 上海: 上海交通大学出版社, 2017.
- [4] 熊瑛, 许建. 船舶信息集成平台技术研究[C]//第四届全国船舶与海洋工程学术会议论文集. 武汉: 中国造船工程学会, 2009: 408-414.
- [5] 危嵩, 熊瑛, 胡鹏, 等. 通用船舶综合平台管理系统模型研究[J]. 中国舰船研究, 2008(10): 57-61.
- [6] Shi R S, Zhang Y, Chen J L, et al. Publish/subscribe network service infrastructure design for EDSOA service platform[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2012(8): 1659-1666.
- [7] 李臣亮. 事件驱动架构及应用[J]. 软件世界, 2007(21): 44-45.
- [8] 李冬琦, 高键. 基于ZeroMQ的SOA分布式通信系统设计[J]. 计算机与数字工程, 2018(6): 1257-1262.
- [9] Zhang J, Lü H Y, Liu K, et al. Design method of multi-source aerial target information fusion platform based on message communication[C]//Proceedings of the 2nd International Conference on Electrical, Control and Automation (ICECA2018). Shanghai: IOP Publishing, 2018, 11: 239-244.
- [10] 安筱鹏. 重构数字化转型的逻辑[M]. 北京: 中国工信出版集团, 2019.
- [11] Lee J, Bagheri B, Kao H A. A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems[J]. Manufacturing Letters, 2015(3): 18-23.
- [12] 柳晨光, 初秀民, 谢朔, 等. 船舶智能化研究现状与展

望[J]. 船舶工程, 2016(3): 77-84.  
[13] Matjaz B J. WSDL and BPEL extensions for event driv-

en architecture[J]. Information and Software Technology, 2010, 52(10): 1023-1043.

## An architecture for event-driven ship intelligent information platform

QIU Bohua<sup>1,2</sup>, ZHANG Yu<sup>1,2\*</sup>, WEI Muheng<sup>1,2</sup>

1. Systems Engineering Research Institute of China State Shipbuilding Corporation Limited , Beijing 100036, China
2. Zhendui Industry Artificial Inintelligence Co., Ltd. , Shenzhen 518101, China

**Abstract** Existing ship information platform is limited by its equipment interface and data standard, and the development of civil ship information platform is relatively slow. In the development process of intelligent ship, deficiency of traditional ship information platform makes it more difficult to support the analysis task of ship in complex working conditions. This paper proposes a ship information platform based on an event-driven architecture design, and starts with modeling event flow around function modules according to the closed loop of 'perception-cognition-decision-control', which improves the processing efficiency of random and uncertain events and reduces the coupling degree of the system. Finally, an information platform is implemented to improve task processing capacity and reduce hardware resource requirements.

**Keywords** event-driven; smart ship; information platform; architecture design ●



(责任编辑 王丽娜)