

ОБЩЕКРАБЕЛЬНАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СРЕДА: КОНЦЕПЦИЯ ЕЕ ФОРМИРОВАНИЯ И ИНФРАСТРУКТУРА

GENERAL SHIP COMPUTING ENVIRONMENT: THE CONCEPT OF ITS FORMATION AND INFRASTRUCTURE

A. Stalnov

Summary. A warship is a complex weapon system equipped with various and complex separate systems such as a sensor system, a strike system, a combat system, and a communications system on a single platform. If the various systems installed on a ship are classified in terms of control, they can be broadly categorized into a combat system, a C4I (command, control, communications and reconnaissance) system, and other systems that use computing resources. However, due to the rapid technological development of the weapon system, threats are diversified, response times are reduced, and the number of crew members decreases as the population and budget decrease. In such a situation, in order to complete the mission, it is necessary to quickly identify various information and make decisions, and all assets and subsystems of consequences must be ready for immediate use. To this end, each country's naval forces are expanding automation and deploying ship dispatchers to control and monitor all control systems needed to carry out a mission in one location, as well as expanding the integration of control systems.

Keywords: integrated control systems, total ship computing environment, ship information systems, system integration layers, open architecture, network of networks, Interconnect Fabric, infrastructure, network communications technology, fault tolerance, fault management.

Стальнов Алексей Николаевич

Независимый исследователь
stalnov@gmail.com

Аннотация. Военный корабль представляет собой сложную систему вооружения, оснащенную различными и сложными отдельными системами, такими как сенсорная система, ударная система, боевая система и система связи на одной платформе. Если различные системы, установленные на корабле, классифицированы с точки зрения управления, их можно в целом разделить на боевую систему, систему C4I (командование, управление, связь и разведку) и другие системы, использующие вычислительные ресурсы. Однако, в связи с быстрым технологическим развитием системы вооружения, угрозы диверсифицируются, время реагирования уменьшается, а количество членов экипажа уменьшается по мере уменьшения населения и бюджета. В такой ситуации, чтобы выполнить миссию, необходимо быстро идентифицировать различную информацию и принимать решения, а все активы и подсистемы последствий должны быть готовы к немедленному использованию. С этой целью военно-морские силы каждой страны расширяют автоматизацию и развертывают диспетчерские корабли для управления и мониторинга всех систем управления, необходимых для выполнения миссии в одном месте, а также расширяют интеграцию систем управления.

Ключевые слова: интегрированные системы управления, общекорабельная вычислительная среда, судовые информационные системы, уровни системной интеграции, открытая архитектура, сеть сетей, Interconnect Fabric, инфраструктура, сетевая коммуникационная технология, отказоустойчивость, управление отказами.

Введение

Судовые системы имеют тенденцию к интеграции и распределению с развитием корабельных технологий. Хотя разные суда выполняют разные функции, все определения, встречающиеся в литературе для судовой информационной системы (СИС), имеют одну общую черту. Эта определяющая особенность состоит в том, что СИС состоит из нескольких независимых подсетей (сенсорные сети, дисплейные сети и др.) и общей судовой коммуникационной сети, которая может обмениваться информацией (эталонный вход, выходной сигнал установки, управляющий вход и т.д.) между подсетями и системами.

Позже, с развитием системы интеллектуального управления кораблём, масштабы сети получили дальнейшее расширение. Системы управления / мониторин-

га судов (интегрированная система ходового мостика, система управления стандартного машинного оборудования, комплексная система оценки состояния и др.), которые могут быть связаны вместе с помощью глобальных сетей корабля и оптоволоконной магистрали в качестве интеллектуального корабля. Такие технологические достижения позволяют полностью контролировать корабль в реальном времени [1–24].

Основная часть

В большинстве проектов систем управления кораблём составляющие подсистемы корабля, кроме боевой, имеют отдельную систему управления, и, соответственно, низкий уровень интеграции корабельных систем. Уровень интеграции судовой системы подразделяется на пять типов интегрированного оборудования (Federation equipment) и три типа консолей — боевых

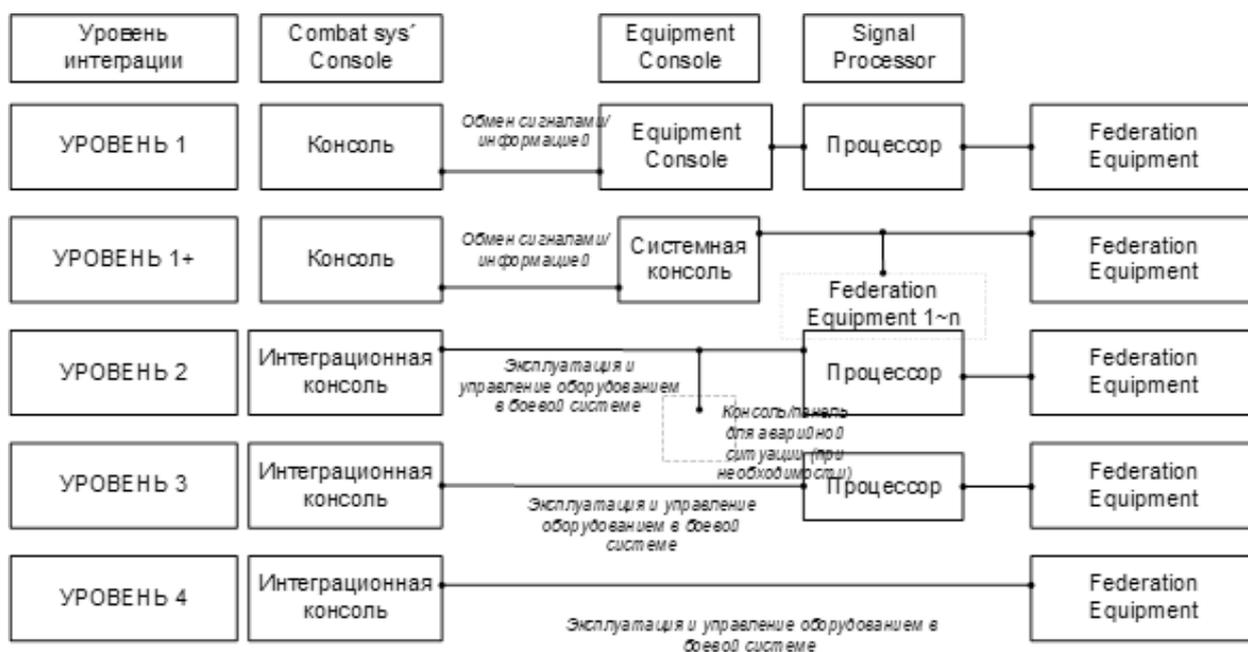


Рис. 1. Типы уровней системной интеграции корабельного оборудования

систем (Combat sys' Console), оборудования (Equipment Console) и процессоры обработки сигналов (Signal Processor) (рис. 1). Уровень 1 — это уровень обмена простыми сигналами и информацией, а также управления целевым оборудованием через отдельные консоли оборудования, Уровень 1+ — это уровень управления сигналами и информацией через системную консоль, а уровни 2–4 это уровни прямого сигнально-информационного управления [19, 25–27].

Концепции системной интеграции вычислительной среды корабля

Высокая степень интеграции и автоматизации является устойчивой тенденцией развития т.н. интеллектуальных кораблей (intelligent ship). Как определено в работе [28, с. 359]: "Основой технических средств сетецентрического управления должна стать системно- и структурно-целостная, универсально-программируемая вычислительная среда, включающая локальные и глобальные компьютерно-сетевые средства как единое целое, которая обладает встроенным системным интеллектом и сквозными технологиями бесшовного программирования, направленными на поддержку комплексных решений задач".

В частности, в Военно-морских силах (ВМС) США концепция "Единая сеть сил ВМС" (FORCEnet) пришла на смену предыдущей концепции "Информационные технологии XXI века" (IT21 — Information Technology for 21-st Century) и предполагает интеграцию всех

участников операции, систем управления и разведки, боевых платформ (надводных кораблей, подводных лодок, самолетов и т.д.), а также комплексов и средств вооружения в единую взаимосвязанную структуру рассредоточенных боевых сил, способных проводить успешные операции в конфликтах любого уровня и масштаба [28].

В 1998 году в ВМС США была разработана схема конфигурации управления кораблём DD(X) в которой впервые появилась концепция "общекорабельной вычислительной среды" (Total Ship Computing Environment, TSCE). В частности, TSCE, одна из десяти ключевых технологий многоцелевого эсминца ВМС США DDG-1000 "Zumwalt" [10, 29–31]. Используя сетевые технологии связи и компьютерного управления, TSCE объединяет все оборудование сети, вычислений, хранения, отображения и внутренней связи, чтобы поддерживать всю систему военного корабля в единой общедоступной вычислительной и демонстрационной среде. Так, DDG-1000 использует всю вычислительную среду корабля как интегрированную систему различных систем корабля, для интеграции информации, чтобы задействовать общие ресурсные преимущества системы, и, наконец, сформировать единый сетевой центр. Система TSCE основана на открытой архитектуре (Open Architecture, OA) [7, 10, 19, 20, 29–36].

Требования к интеграции корабельных систем в условиях интеллектуальных боевых действий предусматривают следующие условия:

1. Стандарты для установки уровня системной интеграции с точки зрения технической / вспомогательной производительности: во-первых, применяются стандартизированные общие протоколы для взаимодействия, совместимости и взаимодействия, а во-вторых, применяются аппаратные средства, операционная система, межплатформенное ПО и инфраструктура / прикладное ПО и была разработана открытая интегрированная архитектура, и в-третьих, была применена технология шифрования / дешифрования по сравнению с кибер-версией [26].
2. Требования к обеспечению долгосрочных эксплуатационных характеристик для создания TSCE на основе ОА системы управления судном отражают интегрированный метод управления и эксплуатации системы управления судном. Во-вторых, это составляет общую вычислительную среду для боевой системы / системы C4I (command, control, communications, computation, and intelligence — Командование, Контроль, Каналы связи, Разведка) / интегрированной системы моста / системы управления органами.
3. Стандарты для установки уровня системной интеграции с точки зрения технических / вспомогательных характеристик дополняют требования краткосрочного отражения, реализуют общую многофункциональную консоль, которая может переключать функции для каждой задачи оператора, и создают среду обмена данными и функцию управления ресурсами, которая реализует графическую производительность на основе процессора и GPU (Graphic Processing Unit) [26].
4. Адаптация к различным рабочим средам. Интегрированная система должна поддерживать все виды вычислительных задач корабля. Задача военного корабля изменчива, поэтому все вычислительные ресурсы, внутренние или внешние, должны быть интегрированы в состоянии "подключи и работай", конфигурация системы должна иметь возможность корректироваться с изменениями оперативной миссии, чтобы гарантировать нормальную работу для удовлетворения требований QoS (quality of service — качество обслуживания). В случае если некоторые вычислительные ресурсы повреждены и не работают, выполнение критических задач должно быть обеспечено с помощью функции разделения ресурсов TSCE.
5. Повышение технологической адаптируемости. Современные компьютеры и связанные с ними технологии стремительно развиваются. Напротив, цикл развития системы военных кораблей относительно долгий. Следовательно, интегрированная архитектура TSCE должна иметь возможность многократного использования и возмож-

ность обновления аппаратного и программного обеспечения военных кораблей, чтобы максимально задействовать потенциал существующих боевых кораблей и продлить срок их службы.

6. Поддержка более высокого автоматического уровня. Интеллектуальный военный корабль требует всё более высокого уровня автоматического управления, чтобы сократить укомплектование корабля персоналом. Таким образом, TSCE должен обладать функциями межсистемного соединения и интеграции, чтобы исключить кристаллизованную схему, согласно которой оружие и датчики должны быть строго сопоставлены попарно, для совместной работы все виды систем автоматизации должны быть распределены в разных точках военного корабля и мгновенно создавать оптимальные решения с учётом всех условий корабля.

Схемы на рис. 2 иллюстрируют переход от интегрированного оборудования (Federate) к сети сетей (Network-of-Networks) к концепции общекорабельных вычислений (Total Ship Computing, TSC), которая объединяет и унифицирует вычислительные ресурсы на корабле для обеспечения информационного преимущества, защиты от баллистических ракет и возможности совместного взаимодействия путем объединения всех активов, таких как корабли, датчики и вооружение, в сеть [37].

Interconnect Fabric (IF) в схеме TSC представляет инновационную сетевую технологию, которая помогает создавать гибкие, масштабируемые и легко управляемые сети центров обработки данных, обеспечивающие высокую производительность. IF объединяет датчики (sensors) и боевую часть (weapons), командование (command), противовоздушные (anti-air) и подводные (undersea) системы наблюдения. При этом обеспечивается высокий уровень отказоустойчивости всей системы (см. Рис. 2).

Термин "интегрированный" (integrated) используется для описания подхода, при котором выбор технологий реализации минимально ограничен для разработчиков. Методы интерфейса применяются только в интерфейсах, а не внутри. При интегрированном подходе каждый разработчик системы выбирает процессоры, операционные системы, межплатформенное программное обеспечение и другие компоненты инфраструктуры безотносительно к выбору, сделанному другими разработчиками систем и подсистем. В этом случае ресурсы выделяются подсистеме, и возможности для совместного использования ресурсов практически отсутствуют. Часто заявляемое преимущество интегрированного подхода состоит в том, что он обеспечивает максимальную гибкость для удовлетворения напряженных или специфических требований системы за счёт выбора передовых технологий.

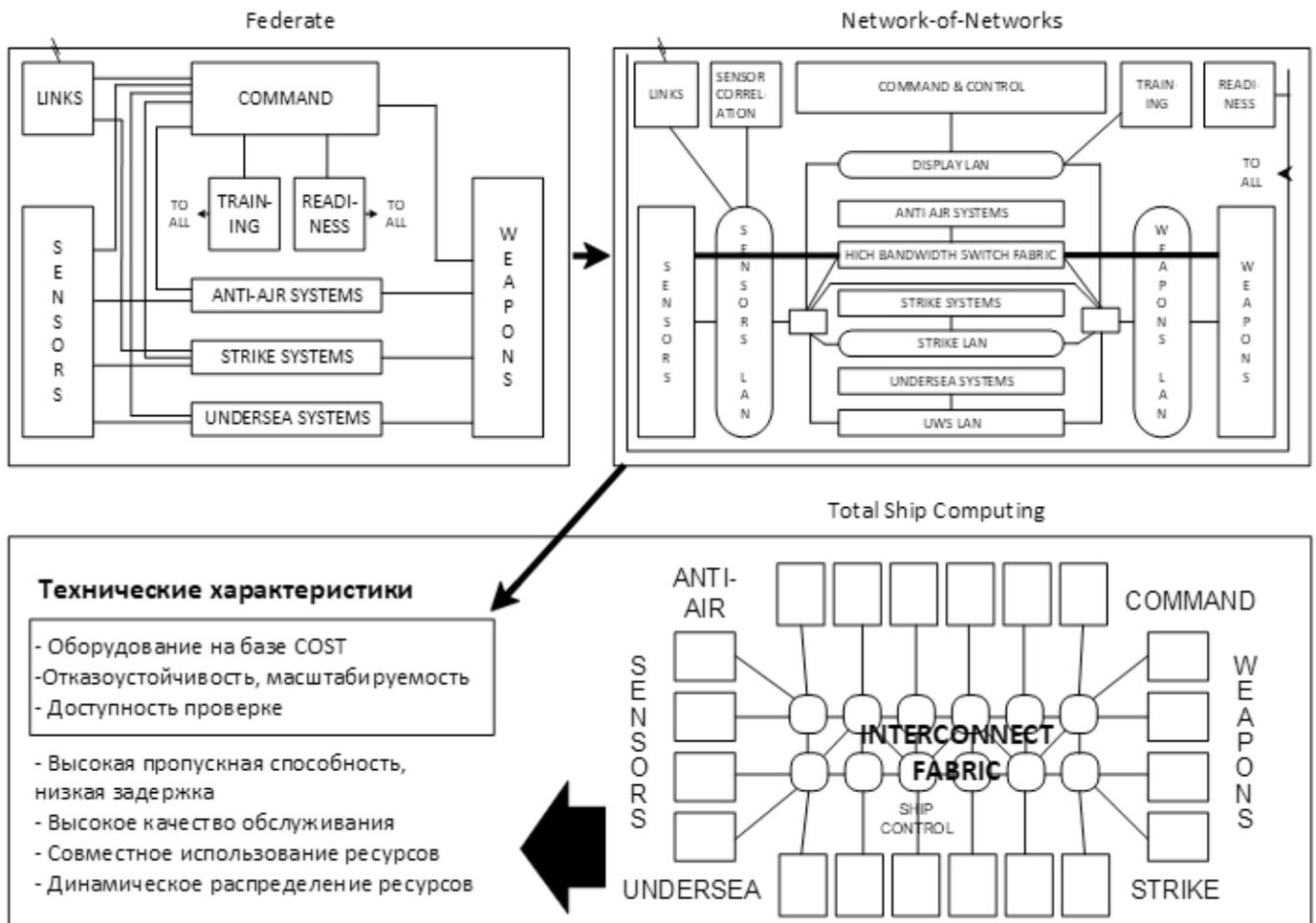


Рис. 2. Переход к общекорабельной вычислительной среде

На рис. 3 концептуально показана структура TSCE, в которой большая часть оборудования, необходимого для выполнения задач управления, такого как датчики, вооружение, двигатели и мощность, подключена к TSCE, интегрированной инфраструктуре, основанной на боевой системе [29, 37]. Это показывает изменение концепции интеграции отдельных станций управления кораблями и централизованного управления ими за счёт введения интегрированной среды, такой как TSCE, для отдельных станций управления, которые физически и функционально обычно работают независимо.

Вся инфраструктура судовой вычислительной среды (TSCE-I) создаёт открытую виртуальную вычислительную среду, все вычислительные ресурсы представляют собой единое управление расписанием, предоставляя услуги для приложений в других областях, и всё прикладное программное обеспечение распространяется в этой виртуальной вычислительной среде. Все датчики, исполнительные механизмы, драйверы и оружие подключены к вычислительной среде корабля через рас-

пределенный процессор сбора данных (Data Acquisition Processor, DAP).

За счёт модульности программного и аппаратного обеспечения, разбиения на компоненты и обслуживания всей вычислительной среды корабля решены проблемы независимой работы каждой подсистемы, сложности взаимодействия и возможности совместного использования ресурсов, и, наконец, межплатформенность достигаются возможности совместных боевых действий.

Формирование общекорабельной вычислительной среды основано на концепциях сервис-ориентированной архитектуры (Service-Oriented Architecture, SOA) и киберфизических систем (Cyber-Physical Systems, CPS).

Система TSCE, состоящая из узловых компьютеров, представляет собой высокопроизводительную распределённую вычислительную среду реального времени, которая решает проблемы интеграции, связанные с плохой совместимостью между системами военных кора-

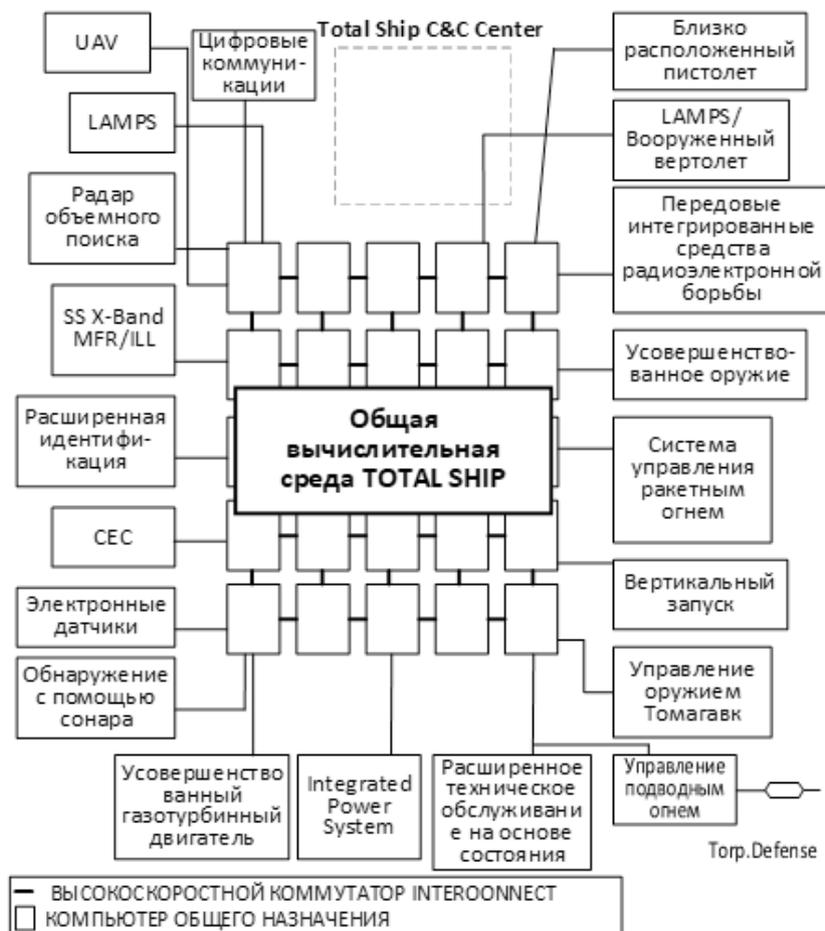


Рис. 3. Концепция общекорабельной вычислительной среды

блей и неудачным совместным использованием ресурсов.

В использовании технологии CPS для реализации бесшовной интеграции датчиков, информации и платформы управления делает упор на интеграции вычислительных, коммуникационных, управляющих и физических систем. CPS может адаптироваться к изменениям и неопределенности окружающей среды. Она может выполнять динамическую самоорганизующуюся реконструкцию и может реализовывать управление интеграцией на основе распределенной сети в реальном времени. CPS также может сделать физическую систему с вычислительной, коммуникационной, управляющей, удаленной совместной и автономной функцией [38, 39].

Основными характеристиками CPS являются: работа в реальном времени, распределенная, высокая надежность, высокий уровень безопасности, разнообразие, автономность [40], что очень хорошо совпало с требованиями TSCE, поэтому можно использовать технологию CPS для реализации органической и глубокой интегра-

ции вычислительных и физических ресурсов корабля, а именно для реализации бесшовной интеграции датчиков, сети, блоков вычислений и управления по всему кораблю. Кроме того, протокол связи CPS можно использовать в качестве эталона для реконструкции SOA в реальном времени [41].

Архитектуру TSCE можно представить с функциональной и технологической точки зрения.

Архитектура функционального представления TSCE

Как уже отмечалось, TSCE — это распределённая большая встроенная система реального времени. Основываясь на понимании принципа работы CPS и функциональных требований TSCE, архитектура функционального представления TSCE показана на рис. 4. Слои чётко разделены, а взаимосвязь между границами ясна, поскольку части TSCE классифицируются точно в соответствии с их функциями. Интегрированная вычислительная структура кораблей включает сенсорный уровень,

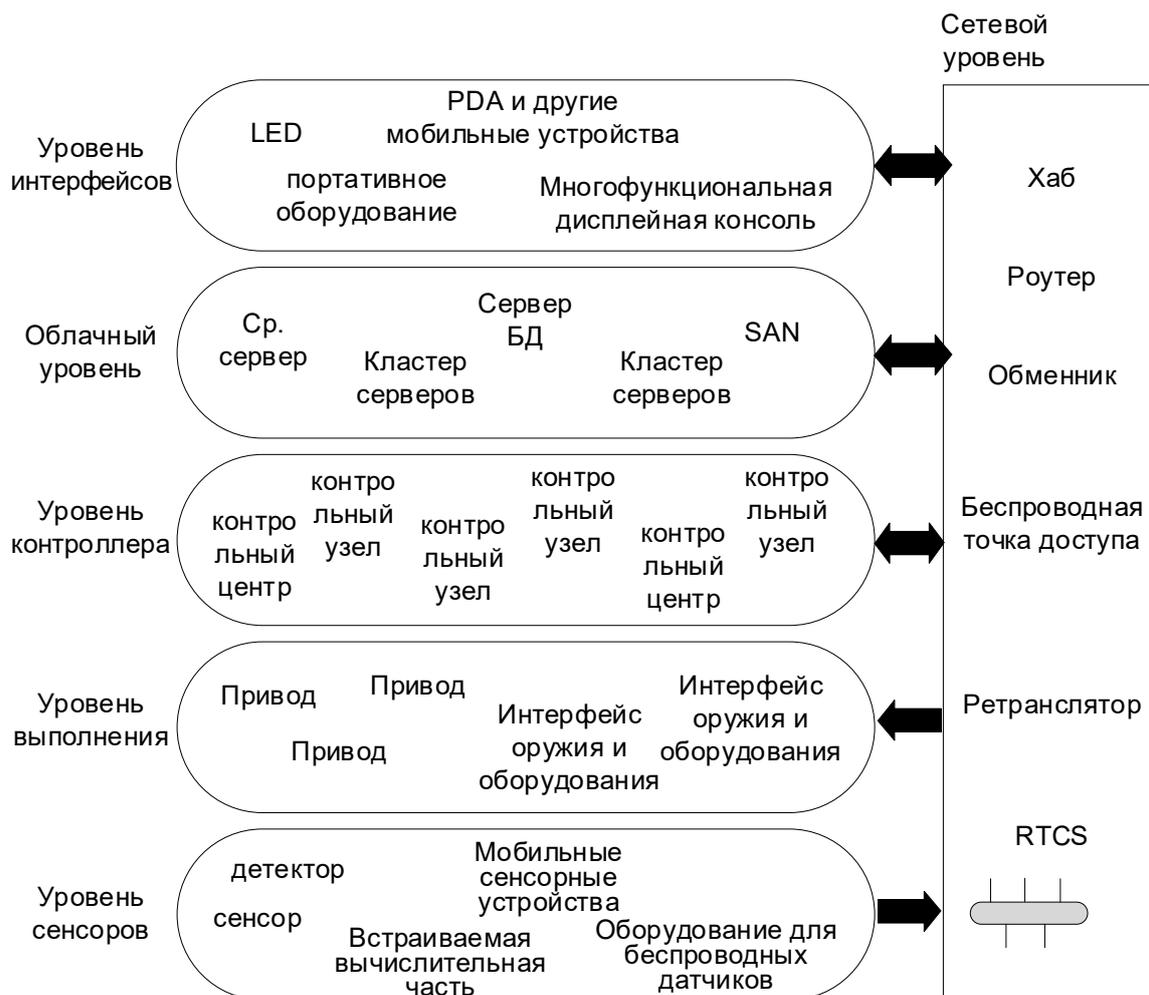


Рис. 4. Общая структура судовых вычислительных функций

уровень исполнения, уровень контроллера, вычислительный облачный уровень, уровень пользовательского интерфейса и сетевой уровень. Предварительно обработанные данные передаются на уровень управления и облачный уровень вычислений через единую сеть для объединения данных по всей системе, а уровень обработки управляет оборудованием нижнего уровня в соответствии с командами, полученными от уровня управления [23, 29].

Сенсорный уровень выполняет функции мониторинга оборудования, сбора данных, восприятия окружающей среды и интеллектуальной предварительной обработки данных. Предварительно обработанные данные будут переданы на уровень управления и вычислительный облачный уровень для глобального слияния. Уровень выполнения реализует взаимодействие с физическим устройством военного корабля в соответствии с инструкциями, получаемыми от уровня контроллера.

Уровень контроллера включает IPC (промышленный персональный компьютер), PLC (программируемый логический контроллер) и одноплатный компьютер. Уровень контроллера получает стратегию от вычислительного облачного уровня и преобразует её в инструкции, которые будут отправлены блоку управления исполнительным механизмом, чтобы действовать надлежащим образом. Вычислительный облачный уровень — это центр слияния данных и обработки информации систем военных кораблей. Ресурсы в облаке будут распределяться динамически во время выполнения. Устройства на этих двух уровнях можно размещать в любом подходящем положении на корабле.

Уровень пользовательского интерфейса передает различные решения командного состава и боевые задачи на облачный уровень вычислений. Разделение дисплея и приложения позволяет гибко распределять функции и задачи операторов или станций. Сетевой уровень обеспечивает низкую задержку, высокую пропускную

способность и возможность быстрого восстановления после сбоев, а также надежный и безопасный сетевой сервис.

Для гарантии надежности системы требуется достаточное резервирование устройств.

Выводы

При разработке TSCE необходимо использовать ряд ключевых методов. С технологической точки зрения TSCE предлагается для анализа технических проблем, которые необходимо решить при разработке TSCE.

Технология распознавания данных. В военных кораблях будут использоваться разнообразные формы технологий, такие как интеллектуальные датчики, сети мобильных датчиков, поскольку они могут более гибко и точно получать данные, а их способность интеллектуальной обработки и автономия напрямую определяют степень автоматизации систем военных кораблей.

Сетевая коммуникационная технология. Поскольку окружающая среда корабля динамична, исключительно для того, чтобы увеличить пропускную способность системы связи невозможно решить проблему, ключевым решением которой является интеграция различных ресурсов связи, поэтому важна технология объединения сетей.

Технология обработки информации. Системы военных кораблей имеют огромное количество информации и сложные требования к обработке, что требует взаимодействия различных уровней технологий. Технологии виртуализации и облачных вычислений могут решить проблемы совместного использования ресурсов и распределения информации. Как решить задачу более надежно при одновременной экономии энергии — проблема должна быть решена во встроенных технологиях. Объединение информации, интеллектуальный анализ данных и огромные технологии обработки данных — всё это ключевые факторы, влияющие на надежность системы в реальном времени.

Технология интеллектуального управления. Система боевых кораблей очень интеллектуальна, в то время как традиционным методом управления сложно решить проблему управления в TSCE.

Технология системного управления. Технология динамического управления ресурсами на различных типах аппаратных и программных ресурсов является основной гарантией для TSCE при поддержании эффективной работы. Адаптивный механизм распределения в реальном времени, а также распознавание информации и доставка на основе контента могут использоваться для удовлетворения потребностей технологии распределения данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лопота А.В., Николаев А.Б. Морские робототехнические комплексы военного и специального назначения. ЦНИИ РТК, 2019. — 46 с.
2. Михайлов В.А. Разработка методов и моделей анализа и оценки устойчивого функционирования бортовых цифровых вычислительных комплексов в условиях преднамеренного воздействия сверхкоротких электромагнитных излучений. Дисс. . . докт. техн. наук / Михайлов В.А. М.: НИИ «Аргон», 2014. — 45 с.
3. Куприянов А.А. Сетевые военные действия и вопросы интероперабельности автоматизированных систем // Автоматизация процессов управления. 2011. № 3. С. 82–97.
4. Bari M.F., Raouf B., Esteves R., Granville L.Z., Podlesny M., Rabbani M.G., Zhang Qi, Zhani M.F. Data Center Network Virtualization: A Survey // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2013. Vol. 15. No. 2. P. 909–928.
5. Biehn A.M., Clarke J.R., Juster J.J., Voth T.E. Weapon System Virtualization and Continuous Capability Delivery for US Navy Combat Systems // Conference Proceedings of EAAW 2–3 July 2019. P. 1–9.
6. Cha J.-H., Lee Ha-Y., Kim D.-S. Design and Implementation of Naval Combat System using Virtualization Technology // Sixth International Conference on Advances in Computing, Control and Networking. ACCN2017. P. 101–104.
7. Dong X., Feng H., Shi Ch., Huang K., Yao J., Zhan J. Architecture and System Integration Framework of Total Ship Computing Environment // Chinese Journal of Ship Research. 2014. Vol. 9. No. 1. P. 8–13,30.
8. Dong X., Yang H.U. Overview of application of model-based systems engineering in integration framework of total ship computing environment // Chinese Journal of Ship Research. 2016. Vol. 11. No. 6. P. 124–135.
9. Emery K. Surface Navy Combat Systems Engineering Strategy. — PEO Integrated Warfare Systems, 4 March 2010. — 26 p.
10. Hao W. A Short Review of U.S. Naval Ship Concept Design Technology Development Features // Naše more. 2017. Vol. 64. No. 2. P. 69–76.
11. Hunt G., Pazandak F.C.P., Schneider P.S. Enabling Modularity in the Littoral Combat Ship. Department of the Navy, the Department of Defense, or the U.S. Government, 2017. P. 1–15.
12. Im J., Kil S., Kim D.-S. Study of Total Ship Computing Environments for Naval Combat Systems // International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC-2019). P. 799–801.
13. Janer D., Proum Ch.-M. Open Architecture for Naval Combat Direction System // Complex Systems Design & Management. 2014. P. 73–84.

14. Kwon S.-M., Jung S.-M. Virtualization based high efficiency naval combat management system design and performance analysis // Journal of the Korea Society of Computer and Information. 2018. Vol. 23. No 11. P. 9–15.
15. Lin X., Heng Li, Liang K., Nie J., Li J. Fault-Tolerant Supervisory Control for Dynamic Positioning of Ships // Mathematical Problems in Engineering. 2019. Vol. 2019. Article ID9134952. P. 1–12.
16. Moreland J.D. Service-Oriented Architecture (SOA) Instantiation within a Hard Real-Time, Deterministic Combat // System Environment Systems Engineering. 2013. Vol. 17. No. 3. P. 264–277.
17. Naval Engineering in the 21st Century. The Science and Technology Foundation for Future Naval Fleets. Transportation Research Board. Washington, D.C. 2011. — 134 p.
18. Naval Systems. Leonardo S.p.a., 2017. — 20 p.
19. Oh S.-W. An integrated architecture for control and monitoring system on naval surface combatants // Journal of the KIMST. 2018. Vol. 21. No. 1. P. 103–114.
20. Park G.-S. A Methodology for the Ship System Integration with Open Architecture: Focusing on the Total Ship Computing Environment based Architecture Building and Validation // Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering. 2020. Vol. 43. No. 3. P. 68–76.
21. Schmid M.E., Crowe D.G. Distributed Computer Architectures for Combat Systems // JHU/APL Developments in Science and Technology Digest. 2001. Vol. 22. No. 4. P. 488–497.
22. Schmidt D. Toward Adaptive and Reflective Middleware for Network-Centric Combat Systems // The Journal of Defense Software Engineering. November 2001. P. 10–16.
23. Yelan H., Hui C. Study on the Architecture of Intelligent Warship's TSCE Based on Multi-view // In: 13th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science, 2014. P. 220–223.
24. Zilic A.M., Baron N.T. Real-time realities: the application of commercial information technology to combat control systems // Naval Engineer Journal. 2009. Vol. 121. No. 1. P. 17–33.
25. Jung S.-H. Direction of development for ship system integration // Bulletin of the Society of Naval Architects of Korea. 2020. Vol. 57. No. 1. P. 15–20.
26. Park G.-S. Study on the ship system integration in the basis of total ship computing environment. — Naval Ship Technology and Weapon Systems Seminar Proceeding, 2019. — 238 p.
27. Navy Headquarters. A Study on TSCE-based Methodology for Ship System Integration, 2019. — 76 p.
28. Макаренко С.И., Иванов М.С. Сетцентрическая война — принципы, технологии, примеры и перспективы. — СПб.: Научное издание, 2018. — 898 с.
29. Navy DDG-51 and DDG-1000 Destroyer Programs: Background and Issues for Congress. — Congressional Research Service. RL32109. — Updated December 22, 2020. — 34 p.
30. The Navy's newest warship is powered by Linux. [Электронный ресурс]. 02.05.2021. — URL: <https://arstechnica.com/information-technology> (дата обращения 02.05.2021).
31. DDG-51 Arleigh Burke — Specifications. [Электронный ресурс]. 02.05.2021. — URL: <https://www.globalsecurity.org/military/systems.htm> (дата обращения 02.05.2021).
32. Dong X. Analysis on the Architecture of USN DDG-1000 Total Ship Computing Environment // Chinese Journal of Ship Research. 2012. Vol. 7. No. 6. P. 7–15.
33. Mark H. DDG-1000 Engineering Control System(ECS) // ASNE Intelligent Ship VIII Symposium, 2018. — 187 p.
34. Liu S., Xu D. Ship information system: overview and research trends // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering. September 2014. Vol. 6. — No. 3. P. 670–684.
35. Strei T. Open Architecture Overview. Oct 2003. 6th Annual System Engineering Conference. [Электронный ресурс]. 02.05.2021. — URL: <http://www.dtic.mil/ndia/2003systems/strei.ppt> (дата обращения 02.05.2021).
36. Strei T. Open Architecture in Naval Combat System Computing of the 21st Century: Network-Centric Applications. [Электронный ресурс]. 02.05.2021. — URL: <https://www.researchgate.net> (дата обращения 02.05.2021).
37. Masters M.W. Total ship computing risk analysis[C/OL]. DARPA Quorum PI Conference, November, 1998. — 39 p.
38. Rong W.J. Cyber physical system // Journal of automation. Apr. 2016. Vol. 38. P. 507–517.
39. Feng H.J. Cyber Physical Systems // China Computer Society Newsletter. Jan. 2018. Vol.6. P. 25–29.
40. Min H. Research on architecture for cyber-physical systems based on multi-view // Computer Engineering and Applications. 2016. Vol. 49. P. 25–32.
41. Shuang H.X. Research into Architecture framework of submarine campaign system based on SOA and CPS // Shipboard Electronic countermeasure. May 2013. Vol.26. P. 5,1–5+31.