

ОСОБЕННОСТИ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОБЩЕКорабЕЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ

FEATURES OF THE INFRASTRUCTURE OF THE GENERAL SHIP COMPUTING ENVIRONMENT IN THE SHIP CONTROL SYSTEM

**A. Stalnov
O. Andreeva**

Summary. The Total Ship Computing Environment (TSCE) concept, using network communication and computer control technologies, integrates all network, computing, storage, display and intercom equipment to support the entire system of a warship in a single public computing Noah and demo environment.

TSCE provides an open, common and standard integrated operating environment for the integration of various equipment functions on a plug and play basis throughout the ship, which contributes to the flexible organization and operation of the system, and can also provide technical support when reducing the size of the vessel and increasing efficiency.

The implementation of supervisory control in the ship's information infrastructure provides a multifunctional environment that is fully integrated with tactical decision making, maintenance and administration. These control functions are available due to their ability to run on any computer. Due to the complexity of the networked computer system and software-based applications, this infrastructure can be vulnerable to hostile and common mode failures. Requires automatic security grace-down and critical backup management features. System integrity and fault tolerance depend on both the redundancy level and the redundancy management strategy. Analytical redundancy can provide a fundamentally new paradigm for managing redundancy.

Keywords: concept of "general ship computing environment", critical functions, integrity and fault tolerance of the system, control functions, information infrastructure of the ship.

Стальнов Алексей Николаевич
Соискатель;
Начальник сектора АО «Концерн
Моринформсистема-Агат»
stalnov@gmail.com

Андреева Ольга Николаевна
Д.т.н., доцент, начальник отдела научной работы
АО «Концерн Моринформсистема-Агат»
nauka@concern-agat.ru

Аннотация. Концепция "общекорабельной вычислительной среды" (Total Ship Computing Environment, TSCE), используя сетевые технологии связи и компьютерного управления, объединяет все оборудование сети, вычислений, хранения, отображения и внутренней связи, чтобы поддерживать всю систему военного корабля в единой общедоступной вычислительной и демонстрационной среде.

TSCE предоставляет открытую, общую и стандартную интегрированную операционную среду для интеграции различных функций оборудования по принципу "подключи и работай" (plug and play) на всём судне, что способствует гибкой организации и эксплуатации системы, а также может оказывать техническую поддержку при уменьшении размеров судна и повышении эффективности.

Внедрение управления в супервизорном режиме в информационной инфраструктуре корабля обеспечивает многофункциональную среду, полностью интегрированную с принятием тактических решений, обслуживанием и администрированием. Эти контролируемые функции доступны благодаря их способности выполняться на любых компьютерах. Из-за сложности сетевой компьютерной системы и прикладных программ на основе программного обеспечения эта инфраструктура может быть уязвима для враждебных сбоев и сбоев общего режима. Требуется автоматическое постепенное снижение безопасности и критически важные функции управления резервным копированием. Целостность и отказоустойчивость системы зависят как от уровня резервирования, так и от стратегии управления резервированием. Аналитическая избыточность может предоставить принципиально новую парадигму для управления избыточностью.

Ключевые слова: концепция "общекорабельной вычислительной среды", критически важные функции, целостность и отказоустойчивость системы, контролируемые функции, информационная инфраструктура корабля.

Высокая степень интеграции и автоматизации является устойчивой тенденцией развития кораблей с интеллектуальной системой управления. В этой связи 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.

Открытая архитектура (Open Architecture, OA) имеет основополагающее значение для успеха TSCE. Как видно на рис. 1, OA TSCE базируется на основных технологиях и системах коммерчески готовых продуктов (COTS) и широко принятых открытых стандартах коммерческих информационных технологий и непатентованных стандартных интерфейсах, сервисах и форматах. OA расширяет технологическую модель TSCE и подключается к сети с несколькими разработчиками для предоставления экономичных, инновационных и быстрых возможностей приобретения [2; 4; 6].

Модульный подход к открытым системам (Modular Open Systems Approach, MOSA) и открытая архитектура BMC определили принципы, которые могут помочь смягчить последствия изменений [3]. В "Руководстве по приобретению оборонных услуг" (Defense Acquisition Guidebook defines) MOSA определяется как "деловой и технический инструмент для внедрения и оценки открытых систем в Министерстве обороны США (DoD)". В его основе лежат следующие ключевые принципы:

- ◆ создать благоприятную среду;
- ◆ использовать модульную конструкцию;
- ◆ определить ключевые интерфейсы;
- ◆ использовать открытые стандарты;
- ◆ подтвердить соответствие.

Принципы OA доступа совместимы с MOSA и включают использование модульного проектирования и раскрытия проектирования для обеспечения эволюционного проектирования, внедрения технологий, конкурентных инноваций и альтернативных конкурентных подходов из множества квалифицированных источников.

Техническая архитектура TSCE

Рис. 2 иллюстрирует техническую архитектуру TSCE и отношения между коммерческой компьютерной отраслью и оборонной промышленностью в предоставлении общего и уникального для предметной области аппарат-

ного обеспечения, межплатформенного программного обеспечения и программного обеспечения [1].

Техническая архитектура TSCE состоит из инфраструктуры на основе COTS (оборудование, операционная система, межплатформенное программное обеспечение и управление ресурсами) и доменных приложений (общие сервисы и приложения).

Аппаратное обеспечение: вычислительное оборудование, такое как кабельная система, шкафы, переключатели, драйверы и процессоры, соответствующие стандарту IEEE/TIA стандарты или IETF.

Операционная система: Операционная система реального времени соответствует стандарту POSIX и драйверам устройств. TSCE запускает Red Hat Linux, например, на блейд-серверах.

Межплатформенное ПО: это ядро TSCE-I, расположенное между операционной системой и приложением, обеспечивающее основу для распространения и адаптации. Например. Общая архитектура брокера объектных запросов (Common Object Request Broker Architecture, CORBA) и служба распределения данных (Data Distribution Service, DDS) из группы управления объектами (Object Management Group, OMG) используются для реализации совместного использования ресурсов и обмена сообщениями в реальном времени.

Общие службы: предоставление программных услуг для обмена информацией и обработки для приложений верхнего уровня, включая синхронизацию времени, запись данных, управление вводом-выводом, управление питанием и т.д.

Приложения: существует ряд "доменов", которые обеспечивают логическую декомпозицию эксплуатационных спецификаций корабля самого высокого уровня, вытекающих из ORD. Эти домены представляют собой отдельные функции, которые сгруппированы в целевые области. TSCE имеет внешний коммуникационный контроль, контроль датчиков, управление кораблем, дисплей, беспилотные летательные аппараты управления, оружие управления, дорожки управления, командование и управление, инфраструктуру и поддержку 10 доменов.

Управление ресурсами: отвечает за распределение, управление и развёртывание всех аппаратных и программных ресурсов в TSCE.

Структура системы TSCE

В TSCE выделяются шесть "сегментов", включая Корабль, TSCE-I, Датчик (Сенсор), C3I (Command, Control,

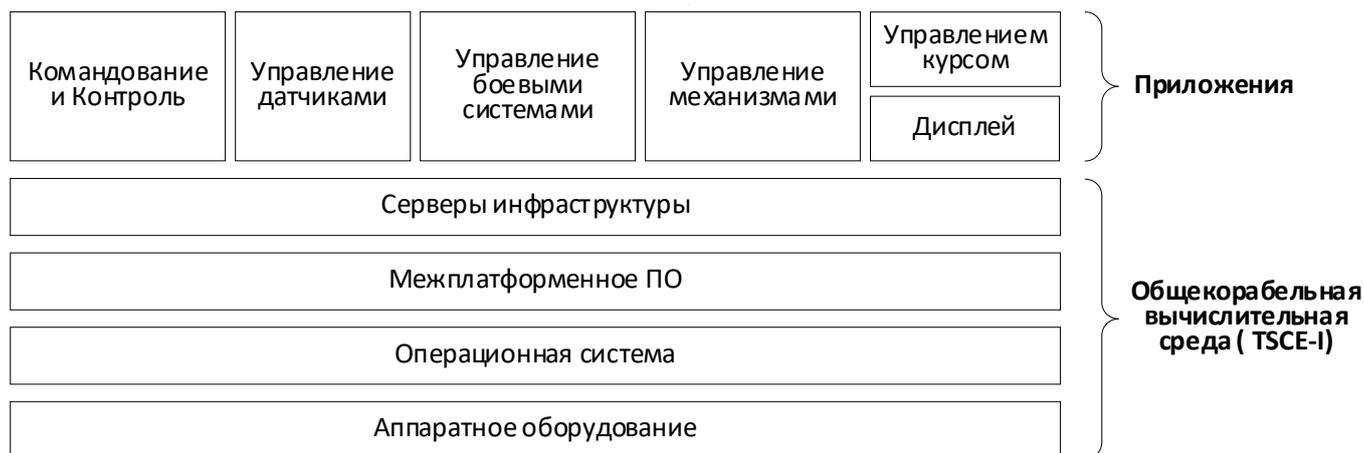


Рис. 1. Уровни открытой архитектуры TSCE

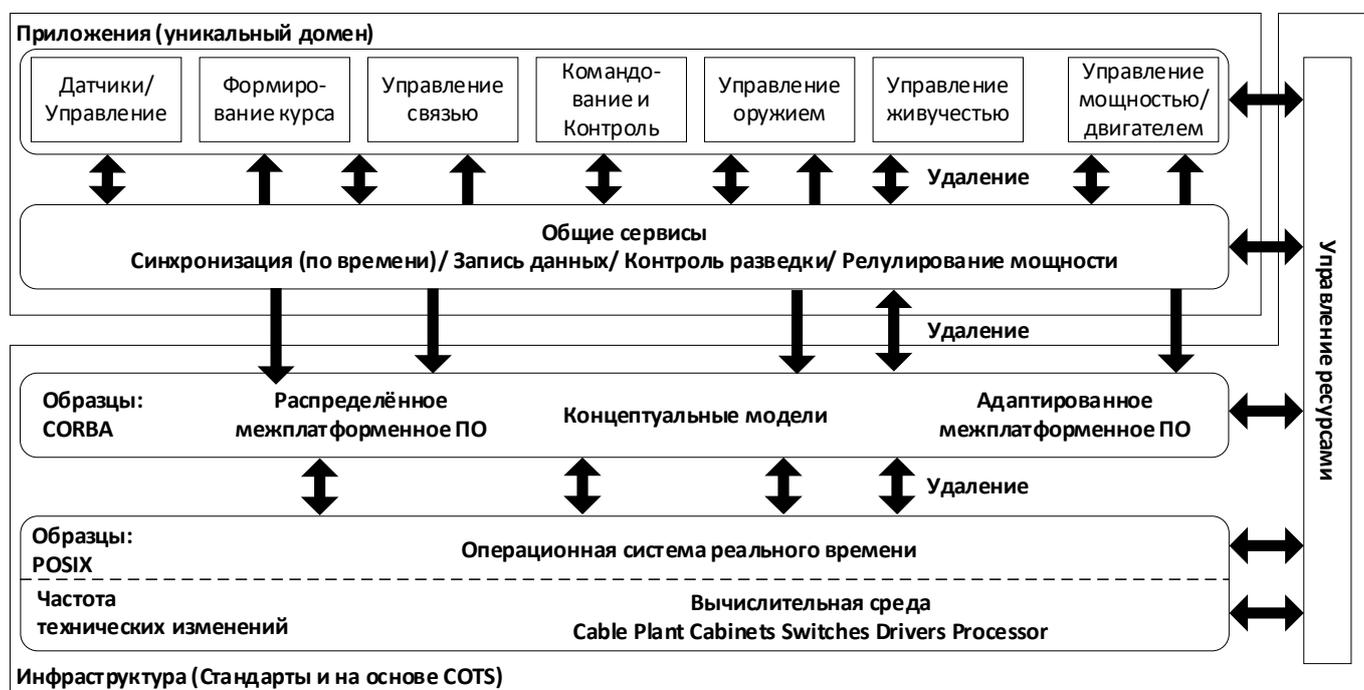


Рис. 2. Техническая архитектура TSCE

Communications and Intelligence — командование, управление, связь и разведка), Взаимодействие и Поддержка, которые обеспечивают разложение системы TSCE на низком уровне в соответствии с операционными функциями (рис. 3). Например, судовой сегмент разбивается на структурные системы, интегрированные энергетические системы, вспомогательные системы, системы управления кораблем, элементы и многое другое. Эти элементы определяются как набор требований к аппаратному и программному обеспечению на уровне элементов, которые затем группируются

и разбиваются на управляемые части. Эта разбивка известна как Иерархическая структура работ подрядчика (Contractor Work Breakdown Structure, CWBS). CWBS разбивает сегменты на элементы, которые затем разбиваются на компоненты, а затем на ансамбли.

Сегмент TSCE-I очень разнообразен. Он разбит на элементы инфраструктуры адаптации (Adaptation Infrastructure), инфраструктуры обработки данных (Data Processing Infrastructure), сетевой инфраструктуры (Network Infrastructure) и инфраструктуры интер-

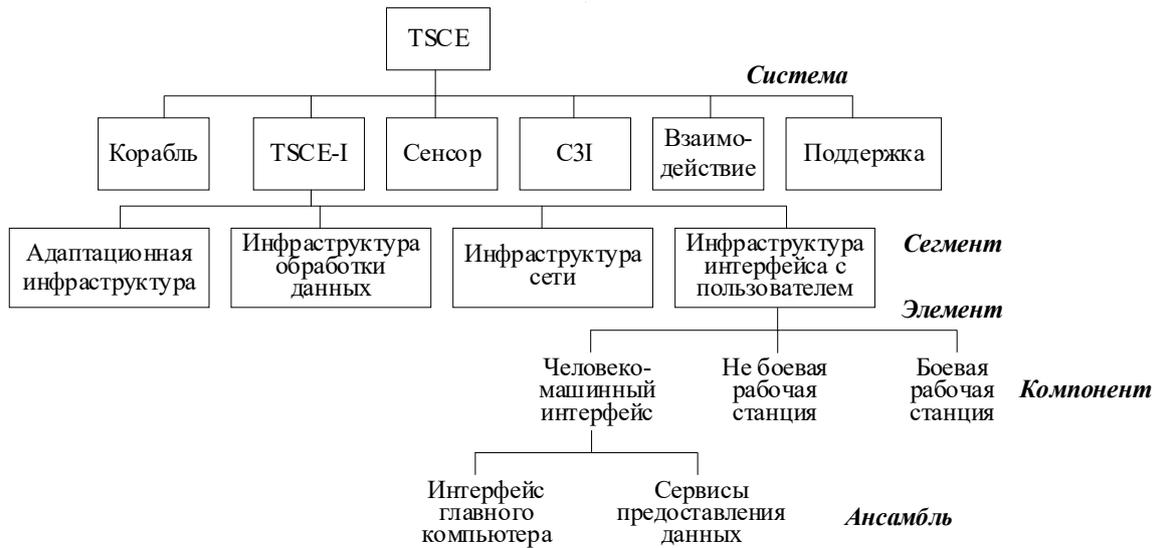


Рис. 3. Сегменты системы TSCE

фейса пользователя (Human Interface Infrastructure). В свою очередь, эти элементы раскладываются на компоненты.

Архитектура TSCE-I

DDG 1000 TSCE-I — один из первых экземпляров ОА. Сегмент TSCE-I должен соответствовать C4ISR (command, control, communications, computers, intelligence, surveillance and reconnaissance — командование, контроль, каналы связи, компьютеры, разведка, наблюдение и рекогносцировка) базовой архитектуры (C4ISR Architecture Framework), JTA (Joint Technical Architecture), TRM (Technical Reference Model), GIG (Global Information Grid) и FORCEnet. TSCE-I реализует технические стандарты JTA и ОА. Соответствие стандартам поддерживает инициативы FORCEnet и GIG для обеспечения функциональной совместимости информации, необходимой для предприятий ВМФ США (Navy Enterprise). TSCE-I использует технологии COTS на основе открытых стандартов, совместимых с ОА, включая CORBA, GIOP, DDS, NTP, SNMP, IP, VoIP, FibroChannel, POSIX и другие, а также поддержку языков, совместимых с ОА (C++, Java и Adp95).

Уровень базовой обработки обеспечивает общую среду, в которой размещается большинство программных приложений DDG 1000 в резервной инфраструктуре, целевое расположение оборудования которых спроектировано так, чтобы быть прозрачным для приложений. Процессоры базового уровня — это серверы IBM Made, работающие под управлением операционной системы Red Hat Linux, размещённые в электронных модульных корпусах (electronic modular enclosures,

EME) [5], которые распределены в нескольких местах на корабле. Уровень представления — это часть TSCE, отвечающая за отображение дисплеев дисплеев на консолях.

Использование OACE

Применение общекорабельной вычислительной среды в основном включает в себя общие службы, прикладное программное обеспечение и человеко-машинный интерфейс.

Уровень общего обслуживания

Общие службы относятся к программным функциям, которые используются несколькими приложениями верхнего уровня, таким как синхронизация времени, запись данных, отображение ситуации, построение графика ситуации и географическая информация.

Уровень прикладного программного обеспечения

Уровень приложений напрямую обращен к пользователям, предоставляет интерфейсы и поддержку для выполнения различных боевых задач, а также разрабатывается и развёртывается на всей инфраструктуре вычислительной среды корабля.

Для уровня прикладного программного обеспечения ключевым моментом является выполнение функциональной декомпозиции с соответствующей степенью детализации, а именно модульного разделения. Различные функции будут предоставлены в виде про-

граммных модулей на основе всей вычислительной среды корабля, ресурсы будут полностью разделены, а задачи могут быть выполнены за счёт гибкой организации и поддержки управления системой.

Уровень человеко-машинного интерфейса

Программное обеспечение человеко-машинного интерфейса расположено в консоли дисплея, которая обеспечивает отображение интерфейса и управление для выполнения различных функций приложения в определенных областях, поддержки боевых и платформенных задач.

Управление ресурсами

Объём управления ресурсами (Resource Management, RM) охватывает все уровни корабельной вычислительной среды и отвечает за унифицированное распределение, управление и развёртывание всех программных и аппаратных средств в вычислительной среде корабля, включая:

1) Виртуализацию аппаратных ресурсов

Виртуализация вычислительных, хранилища и сетевых ресурсов всего корабля для создания инфраструктуры как услуги (Infrastructure as a Service, IaaS).

2) Планирование и развёртывание ресурсов

Большое количество подключенных к сети вычислительных ресурсов управляется и распределяется единообразно, образуя пул виртуальных ресурсов. Благодаря централизованному планированию и развёртыванию всех серверов гарантируется доступность и масштабируемость аппаратных ресурсов.

3) Управление развёртыванием и конфигурацией программного обеспечения

Развёртывание программного обеспечения выполняется для аппаратного обеспечения, такого как серверы и консоли отображения всей инфраструктуры вычислительной среды корабля, включая автоматическую установку и настройку, обслуживание и обновление базового программного обеспечения и прикладного программного обеспечения домена. Создание хранилища программного обеспечения и проведение централизованного управления конфигурацией программного обеспечения. Быстрое развёртывание приложений позволяет гибко настраивать функции каждой станции в соответствии с требованиями задачи.

4) Мониторинг аппаратных ресурсов

Получение в режиме реального времени информацию о занятости, работе и сбоях общедоступных ресурсов инфраструктуры, оптимизация распределения ресурсов и улучшение использования ресурсов. Предупреждение о сбоях и перенос приложений, а также установку механизма восстановления после сбоев.

5) Управление услугами.

Создание реестра для регистрации программного обеспечения и его описаний интерфейсов и моделей данных, в которых весь корабль участвует в интеграции и предоставляет услуги, включая программные модули доменных приложений, общие и базовые услуги, а также отслеживание текущего состояния услуг в режиме реального времени.

Назначение RM ориентировано на обеспечение контроля вычислительных ресурсов в системе во время выполнения. При предоставлении этой возможности выделяются два уровня управления: статический и динамический. При статическом управлении конфигурации фиксируются во время разработки, и диспетчер ресурсов времени выполнения использует эти конфигурации для выполнения запуска, мониторинга работоспособности, реконфигурации и завершения работы.

Подобно статическому управлению, динамический элемент управления выполняет запуск, мониторинг состояния, реконфигурацию и завершение работы. Однако при динамическом управлении диспетчер ресурсов использует требования к производительности приложений и системы для получения и выполнения соответствующих реконфигураций системы во время выполнения в дополнение к поддержке заранее определенных конфигураций. Такая динамическая реконфигурация позволяет менеджеру ресурсов гарантировать непрерывную работу системы для обеспечения определенного уровня QoS.

На рис. 4 представлена архитектура RM, обладающая как статическими, так и динамическими возможностями.

Компоненты RM обеспечивают мониторинг и управление ресурсами сети, операционной системы, межплатформенного программного обеспечения и приложений в распределённой вычислительной среде. Сервисы управления ресурсами и QoS предназначены для предоставления возможности динамически настраивать и перенастраивать компоненты оборудования, операционной системы и приложений, чтобы гарантировать, что желаемое или согласованное приложение,

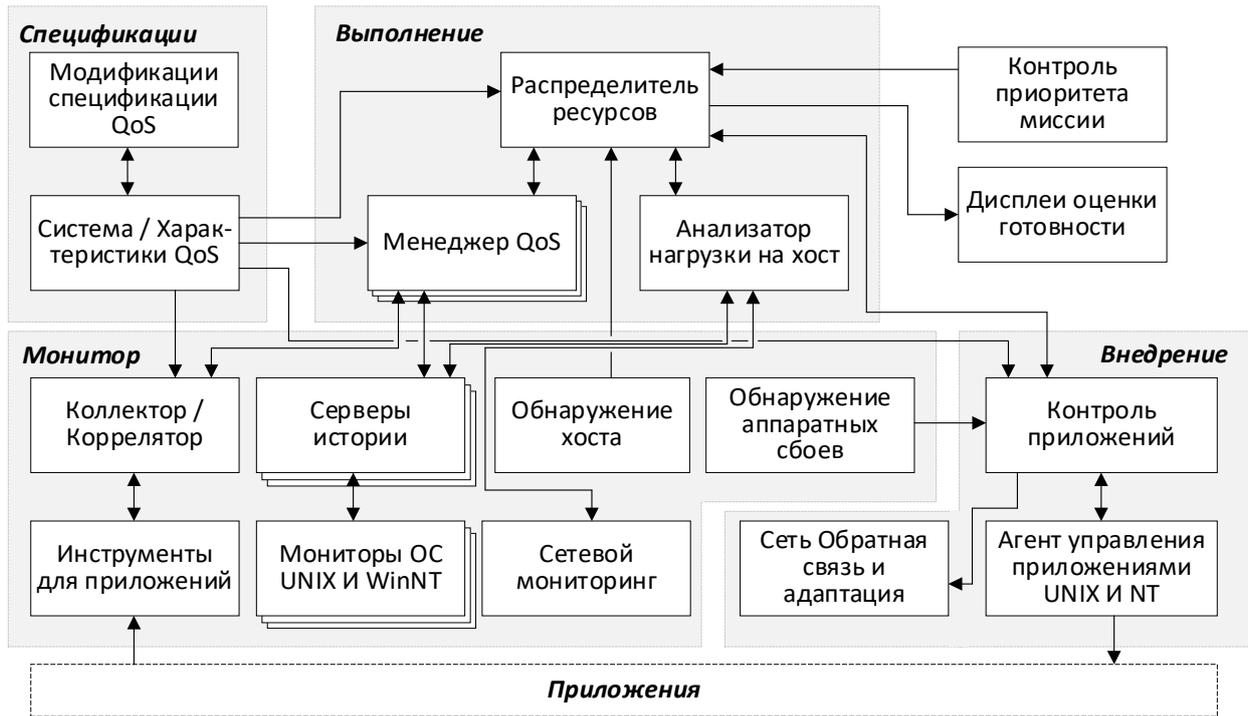


Рис. 4. Архитектура управления ресурсами

путь и требования QoS, ориентированные на миссию, выполняются во время выполнения.

Высокоуровневая архитектура возможности RM представляет собой контур управления с обратной связью, состоящий из компонентов мониторинга, принятия решений и управления (корректировки конфигурации). Разработчики системы определяют требуемую производительность каждого компонента. Инструментарий мониторинга приложений измеряет производительность компонентов в соответствии с заданными требованиями. Когда происходит нарушение требуемой производительности (или предполагается, что оно произойдет), возможность принятия решений RM использует показатели состояния, нагрузки, производительности и сбоев, собранные компонентами, которые отслеживают загрузку процессора и сети. Затем способность принятия решений определяет, следует ли, когда и как выполнять действия по реконфигурации. Компоненты управления ресурсами затем отображают приказы управления RM на низкоуровневые управляющие действия, которые должны выполняться для реализации желаемых действий реконфигурации.

Выводы

Проведенные исследования концепций системной интеграции вычислительной среды корабля позволили сделать следующие выводы.

Общекорабельная вычислительная среда представляет сложную системную инженерию. Помимо того, чтобы полагаться на технологические прорывы, успешная инженерная реализация также неотделима от трансформации инженерного менеджмента и моделей разработки системы. При разработке общекорабельной вычислительной среды рекомендуется:

- ◆ усиление верхнего уровня планирования и общего проектирования, а также реализация единого управления и единой технической системы всей информационной инфраструктуры корабля;
- ◆ внедрение управления разработкой программного обеспечения, продвижение работы по ценнообразованию на программное обеспечение и поддержка закупок оборудования, ориентированного на программное обеспечение;
- ◆ объект системной интеграции больше не подсистема или дисплейная консоль, а функциональный модуль (услуга) с меньшей степенью детализации. Процесс разработки системы должен быть соответствующим образом скорректирован для соответствия новым требованиям интеграции и тестирования.

Путём анализа полнофункциональной системы вычислительной среды корабля можно получить следующие технические характеристики и тенденции:

- ◆ программное обеспечение и оборудование компьютерной системы используют коммерческие

готовые продукты (commercial off the shelf, COTS), а система реализует открытую архитектуру (OA), чтобы можно было создать единую базу и внедрить поэтапное оборудование;

- ◆ разделение приложений и инфраструктуры в различных областях, разбиение на компоненты и повторное использование программного обеспечения, сервис-ориентированная архитектура для достижения интеграции программных систем, прозрачное расположение приложений и сервисов и хорошая масштабируемость;
- ◆ единое управление системными ресурсами, динамическое развертывание приложений, гибкость для изменений и улучшений и способность адаптироваться к различным задачам. В то же время TSCE поддерживает модульность и подключаемость оборудования, так что система задач имеет лучшую адаптируемость и высокую доступность.

Техническая архитектура общекорабельной вычислительной среды может быть разделена на инфраструктуру, доменные приложения и управление ресурсами. База системной интеграции включает функциональную интеграцию на трёх уровнях: (задача + услуга + компонент), интеграция данных (шина данных в реальном времени + служебная шина предприятия) и физическая интеграция (дисплей + ядро + адаптация). Вычислительная среда корабля основана на открытой архитектуре и использует сервис-ориентированную архитектуру, которая окажет важное влияние на режим интеграции корабельных боевых систем и информационных систем платформы.

Таким образом, общекорабельная вычислительная среда является эффективным средством разработки судов для улучшения их всесторонних боевых возможностей и информационного уровня, разработка и применение которого будут активно способствовать созданию систем корабельного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Chris Miller. PEO C4I Open Architecture Strategy. PEO C4I, 2017. — 28 p.
3. Irey IV P.M. Managing computing technology change for surface navy combat systems. NAWCDD, 2010. — 76 p.
4. Liszniansky M., Laliberty T. DDG 1000 first of the Zumwall class transforming the navy // Systems and Software Technology Conference, 2016. P. 38–56.
5. Roa M.J. Application of ABS rules to electronic modular enclosures (EMEs) // ASNE Automation and Controls Symposium. Milwaukee WI, 2018. — 326 p.
6. Winkler A. The modernization of the AEGIS fleet with open architecture. Lockheed Martin, 2011. — 40 p.

© Стальнов Алексей Николаевич (stalnov@gmail.com), Андреева Ольга Николаевна (nauka@concern-agat.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»