

МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНЫХ ТРЕНАЖЕРОВ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

А. Б. Дегтярев^{1,2,}, Ю. В. Пыльнев², В. А. Долгов²,
В. П. Смирнов², В. П. Трегубов¹*

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

² Инжиниринговая компания «НЕОТЕК МАРИН», Санкт-Петербург, Россия

Создание комплексных тренажеров для обучения экипажей управлению сложными техническими объектами имеет несколько аспектов. Они отражают достижение основной цели — отработки коллективных навыков реагирования на стандартные и нестандартные ситуации по управлению сложным техническим объектом. Обсуждается проблема аппаратно-программной реализации различных сценариев совместной тренировки команд экипажа. Предлагается применить концепции виртуального персонального суперкомпьютера для эффективного использования аппаратных ресурсов комплексного тренажера.

Development of complex simulators for training crews in control of complex technical objects has several aspects. They focus on the achievement of the main goal — the development of collective skills to respond to standard and non-standard situations in complex technical object control. The paper discusses the problem of hardware–software implementation of various scenarios for joint training of crew teams. It is proposed to use the concept of a virtual private supercomputer for the effective use of the hardware resources of complex simulator.

PACS: 89.20.Ff; 07.05.Tr

ВВЕДЕНИЕ

Подготовка команд, экипажей для управления и эксплуатации сложных технических объектов подразумевает обучение одновременно большого количества человек, которые должны совместно решать поставленные задачи. В отличие от простой обучающей системы подобные тренажеры строятся на основе распределенной вычислительной среды, состоящей из рабочих мест членов обучаемого экипажа и управляющего сервера. В случае организации тренажеров для отдельных подсистем, работающих в условиях нормальной эксплуатации, не возникает проблем с проектированием вычислительной среды. Опыт показывает, что в этом случае для целей обучения достаточно упрощенных математических моделей, а стандартная пропускная способность сетевых каналов справля-

* E-mail: a.degtyrev@spbu.ru

ется с объемом передаваемых между сервером и рабочими местами данных. Ситуация меняется в случае организации комплексных тренажеров, когда происходит многофункциональное моделирование технологических процессов. Требуется как увеличение рабочих мест, так и синхронизация работы различных подсистем. При этом востребованность такого типа комплексных тренажеров становится реальной. Особенно важна слаженная работа различных подсистем и их команд в случае экстремальных ситуаций, которые требуют полной отдачи от всего экипажа. Традиционные схемы организации обучающих тренажеров уже неэффективны. Причины заключаются как в усложнении используемых математических моделей и их разнородности, так и в увеличении объема передаваемых между узлами данных, обеспечивающих работу большого количества математических моделей [1].

ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ТРЕНАЖЕРА

Приведем примеры проблем, возникающих при организации комплексных морских тренажеров. Так, при подготовке операторов обитаемых подводных аппаратов возникает проблема выработки навыков их действий в экстремальных ситуациях. Выработка подобных навыков на реальном объекте невозможна из-за угрозы жизни экипажу и существованию подводного аппарата. Поэтому требуется использовать имитатор подводного объекта, позволяющий имитировать различные экстремальные ситуации для отработки навыков экипажа по выполнению первичных мероприятий при организации борьбы за выживаемость объекта. Однако в этом случае недостаточно имитировать только отдельные аспекты подводного аппарата. Например, при заклинке рулей во время движения у экипажа есть около 40 с на то, чтобы обнаружить проблему, среагировать и предпринять необходимые действия. При этом в реальности экипаж не готов к таким ситуациям, из-за чего требуется имитировать не только экстремальную ситуацию, но и возникновение этой ситуации в любой момент, в том числе во время других экстремальных ситуаций. Другой пример: неисправность в электроэнергетической системе может привести к проблемам управления, отказу систем дистанционного управления или элементов других систем. Экипаж должен уметь правильно и вовремя использовать средства ручного управления.

Таким образом, возникает потребность в комплексном имитаторе подводного объекта, который имитирует одновременно движение и управление движением подводного объекта, движение сред в помещениях и цистернах и их затопление, а также различные системы, неисправности систем, аварийное затопление и пожары.

В данном случае важным является баланс между сложностью (точностью) математических моделей для каждого рассматриваемого комплекса и целями тренажера, включая уровень обучения, экономическую эффективность, сложность эксплуатации и др. При этом все математические

модели отдельных компонентов должны быть согласованы друг с другом и обеспечивать воспроизведение моделируемых процессов во времени. Объектом приложения рассматриваемых морских тренажеров является в общем случае динамический объект, поведение которого описывается классическими уравнениями движения твердого тела с шестью степенями свободы (три линейные и три вращательные):

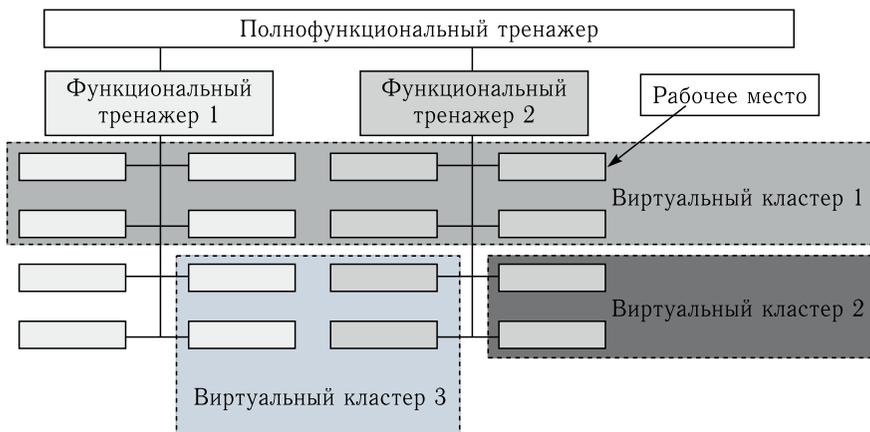
$$\begin{cases} \mathbf{a} = \frac{\delta \mathbf{V}}{\delta t} = \frac{\delta^2 \mathbf{x}}{\delta t^2} = \frac{\mathbf{F}}{m}, \\ \boldsymbol{\omega} = \frac{\delta \varphi}{\delta t} = \frac{\delta^2 R}{\delta t^2} = \frac{\mathbf{M}}{\mathbf{J}}, \end{cases} \quad (1)$$

где, кроме общепринятых обозначений, \mathbf{M}/\mathbf{J} — почленное деление вектора момента силы на вектор момента инерции; R — оператор поворота.

Силы и моменты, составляющие правую часть уравнений, отражают эффекты гидродинамического взаимодействия рассматриваемого объекта и внешней среды. В то же время многие силы возникают на органах управления, что позволяет обеспечивать заданный режим движения или реакцию на возникающие ситуации, включая экстремальные. Например, сопротивление на рулях зависит от их положения. Сами рули управления являются системой гидравлики. Массовые и инерционные характеристики зависят от воды в помещениях и цистернах и меняются при перетекании жидкости. Перетекание жидкостей осуществляется с помощью системы погружения-всплытия. Элементы системы погружения-всплытия получают питание от электроэнергетической системы и системы сжатого воздуха. Система сжатого воздуха, как и система гидравлики, обычно управляется дистанционно, что возможно только при наличии питания. За обеспечение нормальной работы каждой из подсистем отвечает своя команда, но неисправности или аварийные ситуации в одной из подсистем отрицательно сказываются на всех остальных. При индивидуальной подготовке необходимо запускать большое количество независимых имитаторов на разных рабочих местах, что не требует больших ресурсов. Однако при осуществлении групповых занятий нужно запускать одновременно разные элементы имитационной модели. Эти элементы тесно связаны, а также взаимодействуют с графическими имитаторами, разворачиваемыми на рабочих местах обучаемых. В сумме подобный комплексный имитатор выдвигает высокие требования как к вычислительной, так и к сетевой производительности.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО ТРЕНАЖЕРА

Повышенные требования к производительности вычислительного комплекса можно решить несколькими способами. Простой, но неэффективный способ заключается в усложнении вычислительной среды —



Аппаратная организация полнофункционального тренажера

в использовании более мощных вычислительных узлов, замене сетевой инфраструктуры и пр. Возможны два варианта его реализации: 1) использование одной мощной многопроцессорной системы (решение крайне дорогое и неэффективное из-за слабой нагрузки и простоев в режимах нормальной эксплуатации); 2) повышение мощности каждого рабочего места и сетевой инфраструктуры и организация на этой базе MPP-системы. Этот вариант хоть и экономичнее, но имеет те же недостатки, что и первый. Кроме того, любая MPP-система имеет предел ускорения при решении конкретной задачи, особенно в случае сильной связности узлов [2].

Выходом в распределенной вычислительной среде полнофункционального тренажера, который объединяет функциональные тренажеры, может быть использование концепции виртуального персонального суперкомпьютера [3]. В этом случае под каждое ресурсоемкое приложение динамически создается специализированная виртуальная вычислительная среда. Для оптимизации производительности приложений и оптимального распределения виртуализированных физических ресурсов между приложениями настраивается вычислительная инфраструктура. Для этих целей под каждый возможный сценарий создаются виртуальные кластеры (рисунок), соответствующие профилям приложений (CPU, память, сеть). Вместе собираются только те ресурсы, которые требуются именно в данном случае. При этом эффективно утилизируются простаивающие ресурсы, а в результате для решения конкретной задачи организуется виртуальная SMP-система. Для снижения затрат используется упрощенная виртуализация [4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Тренажерные комплексы выполняют функцию описания и представления сложного технического объекта с точки зрения обучения команды эффективному управлению, выработки навыков и правильной реакции на нестандартные ситуации. В случае виртуального полигона [1] системы автоматизированного проектирования и прочих систем преследуются иные цели цифрового описания объекта. Это дает право сделать вывод, что появившийся термин «цифровой двойник» также может использоваться в различных формах реализации. Полнофункциональный тренажер можно рассматривать как одну из форм цифрового двойника объекта.

Представленный подход к организации полнофункционального тренажера эффективен с точки зрения баланса ресурсов и качества моделирования в рамках преследуемых целей обучения.

Работа выполнена при частичной поддержке Санкт-Петербургского государственного университета (проект NP_GZ_2021-3).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bogdanov A., Degtyarev A., Gankevich I., Khramushin V., Korkhov V.* Virtual Testbed: Concept and Applications // LNCS. 2020. V. 12254. P. 3–17.
2. *Богданов А. В., Дегтярев А. Б.* Суперкомпьютинг без суперкомпьютеров: что мы можем, а что не можем? // Вычислительные технологии в естественных науках. Методы суперкомпьютерного моделирования: Сб. тр. Сер. «Механика, управление и информатика». М.: Ин-т косм. исслед. РАН, 2015. С. 61–77.
3. *Gankevich I., Korkhov V., Balyan S., Gaiduchok V., Gushchanskiy D., Tipikin Yu., Degtyarev A., Bogdanov A.* Constructing Virtual Private Supercomputer Using Virtualization and Cloud Technologies // LNCS. 2014. V. 8584. P. 341–354.
4. *Korkhov V., Kobyshev S., Kroshennikov A., Degtyarev A., Bogdanov A.* Distributed Computing Infrastructure Based on Dynamic Container Clusters // LNCS. 2016. V. 9787. P. 263–275.