

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ СРЕДЫ CERTI ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ PBC PB**Е. В. Чемерицкий, Д. Ю. Волканов, Р. Л. Смелянский (Москва)****Введение**

В последнее время всё большее распространение получает стандарт распределённого имитационного моделирования High Level Architecture (HLA) [1]. В частности, появились системы, использующие данный стандарт для моделирования в реальном времени.

В Лаборатории вычислительных комплексов¹ уже долгое время существует программно-аппаратный комплекс «Стенд ПНМ» [2], предназначенный для полунатурного моделирования распределённых вычислительных систем реального времени (PBC PB). Корни системы «Стенд ПНМ» уходят к параллельной системе моделирования «ДИАНА» [3], разработанной ЛВК в начале 1990-х, и служившей базой для проведения экспериментальных исследований в области имитационного моделирования. Последние успехи стандарта HLA в области моделирования в реальном времени [4] привели к постановке ещё одного эксперимента – построению новой системы моделирования, основанной на стандарте HLA и обладающей качествами системы «Стенд ПНМ».

Стандарт HLA включает в себя правила построения моделей и спецификации интерфейса инфраструктуры поддержки моделирования RTI (Run Time Infrastructure). Таким образом, перед разработчиками нового средства моделирования поставлена задача построения собственной реализации RTI, обладающей рядом дополнительных свойств, которые позволят использовать её для полунатурного моделирования PBC PB. Однако доступное множество средств моделирования на основе стандарта HLA позволяет свести задачу построения новой RTI к доработке одной из существующих её реализаций.

В наибольшей степени для целей данного проекта подходит реализация RTI CERTI [5], разработанная Французской аэрокосмической лабораторией ONERA. В работе приводятся результаты исследования эффективности применения данного средства к решению простейших задач моделирования PBC PB. Кроме того, проводится критический анализ его архитектуры и формулируется ряд предложений по её улучшениям, позволяющим адаптировать CERTI RTI для решения задач полунатурного моделирования и увеличить производительность системы.

Оценка производительности системы CERTI

Одной из основных численных характеристик, определяющих возможность использования конкретной системы для решения задач моделирования в реальном времени является среднее время обработки события. В подобных задачах важно гарантировать наступление каждого события строго внутри заданного директивного интервала. Таким образом, среднее время обработки события заведомо должно быть меньше верхней границы интервала. Кроме того, меньшее время обработки означает возможность дополнительного усложнения задачи и меньшую требовательность к вычислительным ресурсам.

В рамках проведённого экспериментального исследования среднее время обработки события было получено в виде отношения времени выполнения модели без ограничений реального времени к числу обработанных при этом событий. Выводы о применимости системы CERTI для решения имитационных задач в реальном времени бы-

¹ Лаборатория вычислительных комплексов факультета вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова.

ли построены на основе сравнения её результатов с аналогичными показателями специализирующейся на них системы «Стенд ПНМ».

В качестве тестовых задач были использованы две простейшие модели из пакета тестирования системы «Стенд ПНМ». Обе задачи моделируют поведение комплекса, состоящего из терминала и вычислителя. Терминал итеративно передаёт вычислителю сообщения с единственным числовым параметром, уменьшающимся на единицу при каждой следующей пересылке, пока он не достигнет нулевого значения. В задаче «Test1» вычислитель лишь регистрирует поступившие сообщения. В задаче «Test2» вычислитель отвечает на каждое сообщение собственным сообщением с тем же телом, а терминал не передаёт новых сообщений, пока не получит соответствующее уведомление от вычислителя.

Для проведения экспериментов использовался комплекс из двух машин, на каждой из которых выполнялся свой компонент имитационной модели. При этом время работы каждого компонента измерялось с момента начальной синхронизации модели и до завершения выполнения этого компонента. Итоговое время выполнения модели считалось как среднее арифметическое от полученных значений.

Время выполнения моделей Test1 и Test2 системами моделирования CERTI и «Стенд ПНМ» в зависимости от числа переданных сообщений, мкс

Число сообщений	Test1		Test1 mod	Test2	
	CERTI	Стенд ПНМ	CERTI	CERTI	Стенд ПНМ
10	5	1	5	10	4
100	61	5	49	94	25
1000	611	49	487	924	249
10000	9297	499	4843	9123	2500
100000	1139762	5000	48575	90034	24999

Результаты эксперимента, приведённые в таблице, показывают, что система CERTI отстаёт от системы «Стенд ПНМ» в несколько раз. При этом отставание растёт линейно относительно числа сообщений. Лавинообразный рост времени выполнения задачи «Test1» системой CERTI объясняется особенностями её механизма продвижения модельного времени, его причины описываются в следующем разделе работы.

Подходы к описанию моделей в системах CERTI и «Стенд ПНМ»

Анализ полученных в ходе исследования результатов требует более детального изучения рассмотренных систем. Коренное отличие инфраструктуры CERTI RTI от среды выполнения системы «Стенд ПНМ» заключается в степени их параллелизма. Корни стандарта HLA, на основе которого была построена система CERTI, уходят к виртуальным средам – играм и тренажёрам, позволяющим географически разделённым участникам использовать общую модель игрового мира, обеспечивая при этом достаточную степень её интерактивности [6]. В отличие от CERTI, система моделирования «Стенд ПНМ» изначально создавалась как многомашинный комплекс, вычислительные узлы которого находятся в одном помещении.

Поэтому системы, к которым предъявлялись различные требования, были построены на различных принципах. В основу системы моделирования «Стенд ПНМ» была заложена идея общих часов – во время выполнения модели проводится высокоточная синхронизация вычислительных узлов комплекса. Отдельные участники моделирования при этом выполняются в соответствии с общесистемным временем. Таким образом, согласованность имитационной модели обеспечивается автоматически.

Идея использования существенно удалённых узлов не позволяет применить аналогичный подход в системах, реализующих стандарт HLA. В соответствии с его спецификациями отдельные участники моделирования должны использовать своё собственное модельное время, называемое *логическим временем*. Логическое время продвигается участниками моделирования независимо друг от друга с помощью сервисов инфраструктуры RTI. При этом задача поддержания модели в согласованном состоянии решается внутри RTI с помощью одного из распределённых алгоритмов синхронизации [6]. Система CERTI предлагает на выбор два таких алгоритма [7].

Описанные подходы продвижения времени обладают своими сильными и слабыми сторонами, и выбор лучшего из них существенно зависит от решаемой имитационной задачи. Использование распределённых алгоритмов синхронизации требует больших накладных расходов. Кроме того, при неосторожном использовании данный механизм может привести к значительному падению производительности. Например, этим объясняются столь плохие результаты системы CERTI на задаче «Test1». В данной задаче терминал не зависит от внешних факторов, поэтому он неограниченно продвигает своё модельное время и мгновенно забрасывает RTI сообщениями. Инфраструктура не успевает обрабатывать поступающий поток сообщений и накапливает их в соответствующем буфере. С ростом размера буфера манипуляции с его участием требуют всё больше ресурсов, поэтому обработка сообщений замедляется, а рост буфера, напротив, ускоряется. В итоге лавинообразно растёт время выполнения модели. Однако описанная ситуация легко исправляется с помощью замедления терминала или ограничения размера буфера – время выполнения изменённой модели приведено в колонке «Test1 mod».

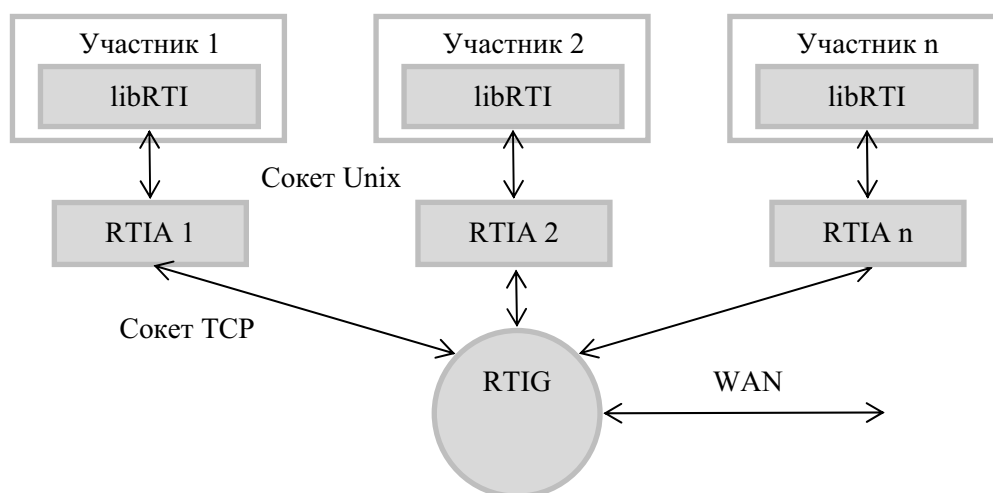
С другой стороны, отказ от идеи общего времени на более сложных реальных задачах часто приводит к росту производительности за счёт упреждающего выполнения инструкций. Например, если бы терминал совершал сложные вычисления после передачи каждого пятого сообщения, то опережение остальных участников моделирования позволяло бы ему рассчитывать на большее процессорное время.

Целью данной работы, однако, является изучение возможности построения средства для решения задач моделирования РВС РВ на основе конкретной реализации стандарта HLA – CERTI. Поэтому целесообразно искать причины отставания CERTI от системы «Стенд ПНМ» не столько в разнице используемых системами подходов к построению моделей, сколько в архитектуре её реализации.

Архитектура CERTI RTI

Распределённая инфраструктура CERTI RTI состоит из трёх компонентов: процесса RTI Gate (RTIG), хранящего состояние модели; множества процессов RTI Ambassador (RTIA), каждый из которых контролирует состояние конкретного участника моделирования и запускается на той же машине, что и его подопечный; и библиотеки libRTI, связывающей участников с их процессами RTIA. Обмен данными между процессами RTIG и RTIA осуществляется через сокеты протокола TCP, а между RTIA и участником моделирования – через сокеты UNIX (рисунок).

Большая часть сервисов RTI реализуется процессом RTIG, в то время как остальные компоненты служат главным образом для его взаимодействия с остальными компонентами модели. Основным достоинством такой централизованной архитектуры является простота реализации сервисов и служб RTI – хранение полного состояния модели внутри процесса RTIG позволяет не заботиться о синхронизации отдельных компонентов RTI и сосредоточиться непосредственно на описании алгоритмов. Данная особенность позволила CERTI стать популярной исследовательской базой для проверки новых веяний в области имитационного моделирования на практике [5].



Архитектура RTI реализации CERTI

К сожалению, простота архитектуры CERTI RTI пагубно сказывается на её показателях производительности. Сильная централизация приводит к сосредоточению всей нагрузки на единственном вычислительном узле и не позволяет использовать свободные ресурсы других узлов. Исследования некоторых других RTI показывают, что архитектура RTI с большей степенью автономности её локальных компонентов способна обеспечить существенно лучшие результаты [8]. Например, в описанной реализации RTI любая передача данных между участниками моделирования, будь то модельные данные или информация, необходимая для корректной работы RTI, всегда осуществляется через процесс RTIG. При этом поступающие модельные данные никак не обрабатываются, лишь создавая дополнительную нагрузку на центральный компонент RTI: они перегружают канал передачи данных, ведущий к процессу RTIG, усложняют обработку поступающих сообщений и требуют использования дополнительной памяти для своего хранения. Если бы локальные процессы RTIA знали о существовании друг друга, они могли бы передавать модельные данные напрямую между собой, перераспределяя нагрузку между вычислительными узлами более равномерно.

Ещё больше снизить нагрузку на процесс RTIG можно с помощью логической декомпозиции решаемой задачи. Разделив участников моделирования на группы, исходную задачу можно представить как совокупность задач моделирования отдельных групп и синхронизации этих групп между собой. Таким образом, становится понятной идея построения RTI с каскадной архитектурой: нижний каскад составляют вспомогательные подсистемы для решения выделенных подзадач, верхний каскад – основная система, синхронизирующая работу вспомогательных. При этом группы можно выбрать так, чтобы минимизировать их взаимодействие между собой, тем самым распределив нагрузку между вспомогательными системами моделирования. Кроме того, каскадная архитектура даёт возможность индивидуальной настройки каждой из выделенных подсистем: например, выбора более подходящего алгоритма временной синхронизации, ограничения размера буферов сообщений или отключения неиспользуемых сервисов RTI.

Другой проблемой описанной архитектуры является неэффективный механизм обмена данными между участником моделирования и соответствующим ему процессом RTIA. Так как данные передаются в виде сообщений через сокет UNIX, то требуется их дополнительная обработка – сериализация параметров перед отправкой сообщения и их декодирование после его получения. Лучшим решением данной проблемы, видимо,

может быть замена полновесного процесса RTIA дополнительным потоком управления внутри соответствующего участника моделирования. При этом библиотека libRTI и процесс RTIA будут находиться в одном адресном пространстве, автоматически снимая задачу дополнительной обработки передаваемых данных. Кроме того, взаимодействие на уровне потоков может быть организовано эффективнее, чем на уровне процессов.

Выводы

Результаты, показанные реализацией CERTI RTI на простейших тестовых задачах, в несколько раз уступают результатам системы «Стенд ПНМ» и не позволяют использовать её для решения диапазона задач полунатурного моделирования PBC PB, существующего в ЛВК, без предварительных модификаций. Однако отставание не является критическим. Анализ архитектуры CERTI показывает, что показатели её производительности могут быть значительно улучшены с помощью применения более эффективных способов передачи данных и перераспределения функциональности между компонентами RTI. Таким образом, на основе системы CERTI может быть построено средство для эффективного решения задач моделирования PBC PB. В дальнейшем планируется доработать CERTI в указанных в работе направлениях.

Литература

1. Simulation Interoperability Standards Committee of the IEEE Computer Society IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) Federate Interface Specification. 2000.
2. **Балашов В. и др.** Стенд полунатурного моделирования для разработки встроенных вычислительных систем реального времени / В. Балашов, А. Бахмуров., Д. Волканов, Р. Смелянский, М. Чистолинов, Н. Ющенко // IV Всероссийская научно-практическая конференция по имитационному моделированию и его применению в науке и промышленности «ИММОД-2009». Сб. докладов. СПб., 2009. С. 215–219.
3. **Smeliansky R. L., Bakhmurov A. G.** DYANA: An Environment for Embedded System Design and Analysis // In Proceedings of 32-nd Annual Simulation Symposium, San Diego, California, USA, 1999.
4. **Adelantado M., Siron P., Chaudron J.-B.** Towards an HLA Run-time Infrastructure with Hard Real-time Capabilities // Proceedings of International Simulation Multi-Conference, Ottawa, Canada, 2010.
5. **Noulard E. Rousselot J.-Y.** CERTI, an Open Source RTI, why and how // Spring Simulation Interoperability Workshop. San Diego, USA, 2009.
6. **Fujimoto R.** Parallel and Distributed Simulation Systems, 2000.
7. **Chaudron J.-B., Noulard E., Siron P.** Design and model-checking techniques applied to real-time RTI time management // Proceedings of 2011 Spring Simulation Multiconference – SpringSim'11, Boston, USA, 2011.
8. **Malinga, L and Le Roux.** HLA RTI performance evaluation // European Simulation Interoperability Workshop, Istanbul, Turkey, 13–16 July, 2009. P. 1–6.