

Компьютерное моделирование сложных натуральных экспериментов на основе HLA-технологии

Е. В. Постников

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
evpost@nicetu.spb.ru

В. В. Матросов

Акционерное общество «Научно-инженерный центр
Санкт-Петербургского электротехнического
университета»
matrosov.valeriy@nicetu.spb.ru

Аннотация. Рассматриваются основные принципы построения систем имитационного моделирования сложных натуральных экспериментов, в которых участвует несколько объектов с разными целевыми функциями, с использованием HLA технологии.

Ключевые слова: имитационное моделирование; сложный натуральный эксперимент; архитектура высокого уровня; комбинированная модель

Компьютерное моделирование сложных натуральных экспериментов является весьма действенным инструментом повышения эффективности планирования и проведения натуральных экспериментов в целом. Моделирование с использованием возможностей современных средств вычислительной техники позволяет существенно сократить сроки и стоимость создания новых технических систем как на этапе проектирования, так и при их натуральных испытаниях. Сложным стоит считать натуральный эксперимент, если в нем участвует несколько взаимосвязанных объектов с разными целевыми функциями.

Традиционно подходы к моделированию натуральных экспериментов разделяют на аналитический и имитационный. При аналитическом подходе модель, определяющая порядок прохождения эксперимента, задается в виде явных функциональных зависимостей. Однако получить эти зависимости удастся только для сравнительно простых систем. Аналитическая модель, как правило, статическая. Когда явления сложны и многообразны исследователю приходится идти на упрощенные представления сложных натуральных экспериментов даже при использовании вероятностных моделей для описания объектов и среды их функционирования. В результате аналитическая модель становится либо слишком грубым приближением к действительности, либо чересчур вычислительно сложным. Данный тип моделей обычно применяют для описания фундаментальных свойств объектов системы, для проведения простых по своей сути натуральных экспериментов. Сложные натурные эксперименты редко удается описать аналитически.

Альтернативой аналитическим моделям являются имитационные модели (динамические). Основное отличие

имитационных моделей от аналитических состоит в том, что для описания объекта системы строят алгоритм, отображающий последовательность развития процессов внутри исследуемого объекта, а затем «проигрывают» поведение объекта на компьютере. К имитационным моделям прибегают тогда, когда объект моделирования настолько сложен, что адекватно описать его поведение математическими уравнениями невозможно или затруднительно. Имитационное моделирование позволяет разлагать большую модель на части (объекты, «кусочки»), которыми можно оперировать по отдельности, создавая другие, более простые или, наоборот, более сложные модели.

Взаимодействие объектов при имитационном моделировании осуществляется на информационном уровне, когда на основе информации, циркулирующей в системе имитационного моделирования, объекты формируют свое поведение в соответствии со своей целевой функцией. При этом для учета априорной неопределенности в условиях проведения эксперимента используется стохастическое описание объектов.

Современные подходы к имитационному моделированию реализуются с использованием проверенных методов и алгоритмов, воплощенных в многочисленных программных продуктах, таких как Aeroshape-3D, MrCCI Vizualizer, ANSYS, GPSS [1], Arena [2] и т.п. Использование моделей помогает конструкторам создавать системы, отвечающие необходимым техническим требованиям, а также оптимизировать их структуру и функционал до практической реализации.

Для систематизации подходов по созданию систем имитационного моделирования [3, на Можайку] на основе языков (сверх) высокого уровня в последнем десятилетии двадцатого века широко применяется стандарт, определяющий высокоуровневую архитектуру и открытый стандарт распределенного моделирования – High Level Architecture (HLA), обеспечивающую взаимодействие моделей всех уровней и согласование с системой C4I (Command, Control, Communication, Computers, Intelligence) [4]. HLA определяет техническое решение, которое следует использовать при создании систем имитационного моделирования. Целью введения HLA

является обеспечение переносимости отдельных элементов моделей и возможность их совместного использования. HLA построен на основании структурированного языка XML (Extensible Markup Language).

При разработке HLA учитывались следующие принципы:

- простые «монолитные» имитационные модели не могут удовлетворить потребности продвинутых пользователей;
- все возможные сферы применения имитационного моделирования заранее неизвестны;
- должны быть предусмотрены возможности произвольного комбинирования отдельных симуляторов в сложные имитационные модели;
- архитектура распределенного моделирования должна быть максимально открыта для будущих технологий моделирования и имитации.

К основным особенностям HLA, как архитектуры, можно отнести [4]:

- объектно-ориентированную структуру;
- гибкость;
- широту функциональных возможностей;
- масштабируемость.

Актуальная версия HLA разработана в рамках стандарта IEEE 1516-2010 [5, 6] и включает в себя:

- IEEE 1516-2010 «Стандарт архитектуры высокого уровня для моделирования и имитации. Структура и правила»;
- IEEE 1516.1-2010 «Стандарт архитектуры высокого уровня для моделирования и имитации. Спецификации интерфейс федерата»;
- IEEE 1516.2-2010 «Стандарт архитектуры высокого уровня для моделирования и имитации. Спецификация шаблона объектной модели»;
- IEEE 1516.3-2003 «Рекомендуемая практика разработки HLA федерации и процесс исполнения»;
- IEEE 1516.4-2007 «Рекомендуемая практика для проверки и аккредитации федерации, как надстройка над разработкой HLA федераций и процессом исполнения»;
- IEEE 1730-2010 «Рекомендуемая практика моделирования и процесс исполнения».

HLA обеспечивает отделение специфических функциональных возможностей моделирования от общих. Для поддержки последних, разработана универсальная инфраструктура RTI (Real-Time Infrastructure). RTI, подобно распределенной операционной системе, обеспечивает функциональность, необходимую для

взаимодействия объектов внутри распределенной системы [6]. При описании HLA введены следующие понятия:

- федерат – отдельно взятый модуль модельного эксперимента, обычно реализующий уникальную модель, который реализуется в рамках объектной модели федерата SOM (Simulation Object Model);
- федерация – совокупность федератов в едином информационном пространстве, которая реализуется в рамках объектной модели федерации FOM (Federation Object Model).

В качестве федератов могут рассматриваться [4]:

- имитационные модели и системы имитации – конструктивные системы;
- тренажеры и модели, интерактивно управляемые людьми – виртуальные системы;
- реальные образцы техники или системы связи и управления – натурные системы;
- специальное программное обеспечение для визуализации или для сбора и обработки информации.

Ядром всей системы является RTI-сервер и интерфейсы взаимодействия с ним. В настоящее время существует множество реализаций [6], как коммерческих, например, CAE RTI, Chronos RTI, HLA Direct, SimWare RTI, Openskies RTI, Pitch pRTI, Mitsubishi ERTI, СПО PCPM, так и свободно распространяемых, например, ВН-RTI, MATREX RTI, CERTI, EODiSP HLA, The Portico Project, Open HLA [8], OpenRTI [9], RTI-S, Rendezvous RTI.

Перечисленные программные средства имеют различную степень соответствия стандарту HLA, но большинство реализаций являются разработками, созданными за пределами Российской Федерации. К перспективным отечественным разработкам можно отнести Distributed Simulation Infrastructure (DSI, Инфраструктура распределенного имитационного моделирования) реализованную в АО «НИЦ СПб ЭТУ» [10].

Хочется отметить, что несмотря на большое количество реализаций стандарта HLA, все они удовлетворяют общим требованиям:

- организация взаимодействия между компонентами моделирующих систем в едином информационном пространстве;
- интеграция моделирующих систем в единые моделирующие комплексы и построение распределенных моделирующих систем на основе поддержки стандарта распределенного моделирования;
- взаимодействие имитационных моделей и RTI в локальном и сетевом режимах функционирования;

- обеспечение динамического подключения имитационных моделей, выполненных в виде модулей расширения;
- обеспечение унифицированного взаимодействия имитационных моделей в рамках моделирующей системы;
- запуск, остановка, продолжение модельного эксперимента, его протоколирование с возможностью последующего воспроизведения, а также управление модельным временем;
- управление федерациями;
- управление декларациями;
- управление объектами;
- управление владением атрибутами;
- управление логическим временем;
- управление распространением данных;
- обеспечение запуска, остановки, продолжения модельного эксперимента, а также управление модельным временем;
- предоставление разработчику оболочки для написания приложения-федерата и коллекции базовых классов для интеграции моделей;
- создание, просмотр и коррекция библиотек объектных моделей;
- генерация исходных кодов интерфейсов классов на основе объектных моделей;
- формирование конфигурации распределенной моделирующей системы;
- обеспечение отладки распределенной моделирующей системы;
- обеспечение мониторинга состояния распределенной моделирующей среды и ее диагностики;
- отбор необходимых результатов моделирования в виде данных объектной модели федерации и сохранение отобранных данных.

Благодаря возможностям HLA вычисления могут проводиться не только на отдельных компьютерах, но и в распределенной компьютерной среде, что увеличивает возможности по моделированию взаимодействия большого числа федератов.

При имитационном моделировании основным типом моделей федератов являются кибернетические или информационные модели, построенные по схеме «вход – выход». Они описываются набором входных и набором выходных переменных, а так же правилами формирования выходных переменных по входным. Стандарт HLA предусматривает такое описание в рамках объектной модели федерата и федерации (SOM и FOM)[5].

Такие правила формирования выходных параметров федерата по входным могут реализоваться с помощью математических моделей. В качестве математических моделей могут использоваться системы линейных и нелинейных алгебраических уравнений, системы дифференциальных уравнений, различного рода функции, их производные и интегралы. В простейшем случае поведение федерата может быть реализовано путем интерполяции таблично заданной или кусочно-линейной функции.

Данный подход к созданию имитационных моделей позволяет использовать их не вместо аналитических, а вместе, в комбинации с ними. Комбинированные модели относительно просты для создания и позволяют исследовать такие параметры реальных систем, которые невозможно отобразить в аналитических моделях. Комбинированное использование аналитических и имитационных методов дает возможность сочетать достоинства обоих подходов. При построении комбинированных (аналитико-имитационных) моделей производится предварительная декомпозиция процесса функционирования системы на составляющие подпроцессы, и для тех из них, где это возможно, используются имитационные модели с аналитическим описанием их поведения, а для остальных подпроцессов строятся имитационные модели, имеющие информационно-логическое описание.

Вариант использования таких моделей в терминах стандарта HLA представлен на рисунке 1.

Как видно из рисунка, все реализуемые модели используют параметр время, как входящий. За продвижением времени моделирования в ходе выполнения имитационного эксперимента в масштабах федерации следит один из сервисов RTI [7]. При этом RTI также отвечает за согласование и своевременный обмен информацией (например, обновление атрибутов) между отдельными федератами.

Концептуально RTI обеспечивает основу, к которой могут быть присоединены независимо разрабатываемые федераты в рамках проведения сложных натурных экспериментов. Основной целью управления временем

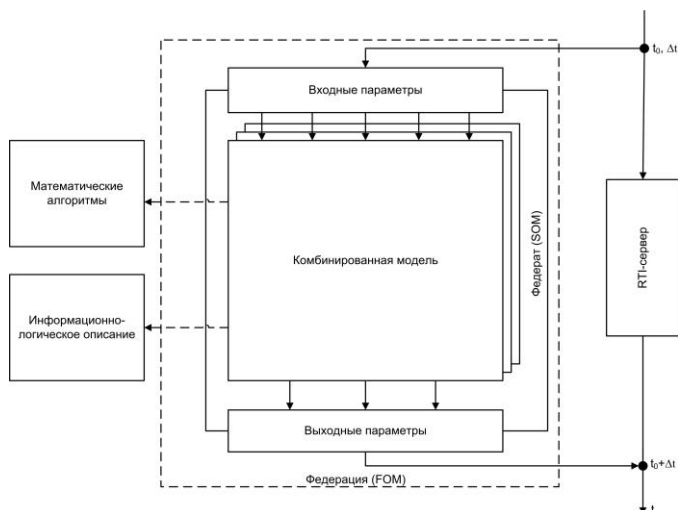


Рис. 1. Комбинированная модель федерата

является поддержка взаимодействия моделей с использованием различных внутренних механизмов управления временем. А именно, реализация федерации, состоящей из несколько отдельных федераций, может включать в себя:

- системы моделирования с различными требованиями к упорядочиванию сообщений. Например, в системах распределенного интерактивного моделирования не требуется никакое упорядочивание (DIS[11]), а в ALSP-системах требуется упорядочивание сообщений по временным меткам;
- системы моделирования с использованием различных внутренних механизмов продвижения времени, например, моделирование с фиксированным шагом и моделирование, управляемое событиями;
- системы моделирования в реальном времени (в масштабируемом реальном времени) и «as-fast-as-possible» моделирование (максимально быстрое);
- системы параллельного моделирования на мультипроцессорных платформах с использованием консервативных (без откатов) и оптимистических (с откатами) протоколов синхронизации;
- системы моделирования с одновременным использованием сервисов упорядочивания и передачи сообщений, например, тренажеры с упорядочиванием сообщений и надежной передачей для определенных типов событий (например, отделение ступени ракеты) одновременно используемые с неупорядоченной самой надежной передачей сообщений другим системам (федерациям).

Поддержка этих подходов в архитектуре HLA дает возможность разработчикам при проведении сложных натурных экспериментов придерживаться определенных требований, необходимых при реализации каждого федерата в частности. К таким требованиям можно отнести наличие фиксированного шага моделирования, который может быть разным у отдельно взятых моделей. Для этого был разработан унифицированный подход к управлению временем, необходимый для различных моделей, в рамках которого RTI не продвигает время дальше до тех пор, пока все «невязки» между федератами на данном шаге (временном отрезке) не будут разрешены. При этом механизм управления локальным временем, используемый каждым федератом, не виден другим федератам. Обычно в различных типах моделирования используется только часть всех возможностей RTI. Системы моделирования не требуют явного указания в RTI используемого механизма управления локальным временем.

Такой подход к созданию моделей в совокупности с возможностями HLA позволяет охватить качественно новые классы систем, проведение сложных натурных экспериментов, которые не могут быть исследованы с использованием аналитического или имитационного подхода в отдельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ (Заголовок 5)

- [1] Томашевский В., Жданова Е. Имитационное моделирование в среде GPSS.: Бестселлер, 2003. 416 с.
- [2] Arena URL: <http://www.interface.ru/sysmod/arena.htm> (дата обращения 15.03.2018 г.)
- [3] Беляев С.А., Матросов В.В. Опыт создания среды имитационного моделирования // Научные исследования в космических исследованиях Земля. 2017. Т.9.
- [4] Сиражев С. Технология HLA - High Level Architecture URL: <https://prezi.com/nym97nzuhfn/hla-high-level-architecture/> (дата обращения 05.10.2017 г.)
- [5] 1516-2010 - IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) - Framework and Rules URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5553440/> (дата обращения 05.10.2017 г.)
- [6] High-level architecture URL: https://en.wikipedia.org/wiki/High-level_architecture (дата обращения 05.10.2017 г.)
- [7] Run-time infrastructure (simulation) URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Run-time_infrastructure_\(simulation\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Run-time_infrastructure_(simulation)) (дата обращения 05.10.2017 г.)
- [8] Open HLA URL: <https://sourceforge.net/projects/ohla/> (дата обращения 15.03.2018 г.)
- [9] OpenRTI URL: <https://sourceforge.net/projects/openrti/> (дата обращения 15.03.2018 г.)
- [10] НИЦ СПб ЭТУ URL: <http://www.nicetu.ru/contacts/> (дата обращения 15.03.2018 г.)
- [11] DIS URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_Interactive_Simulation/ (дата обращения 15.03.2018 г.)