

ОТ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ К РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ В ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

В. Б. Бигдан, Т. П. Марьянович, М. А. Сахнюк (Киев)

Имитационное моделирование как одно из направлений в области системного анализа и компьютерной математики за свою более чем сорокалетнюю историю, начиная с конца 60-х годов, прошло долгий путь развития: менялись концепции, парадигмы программирования, поколения языков имитационного моделирования и средств вычислительной техники, технологии, стандарты и области приложений. И, тем не менее, имитационное моделирование за рубежом и в нашей стране всегда сохраняло и продолжает сохранять статус эффективного инструментария исследования сложных систем [1, 2, 3].

В 90-х годах прошлого столетия в связи с развитием и внедрением сетевых технологий имитационное моделирование претерпело качественный скачок. Появился новый тип имитационного моделирования, который в отличие от традиционного (*последовательного*), как правило, реализуемого на однопроцессорных компьютерах, обеспечивает проведение исследований сложных систем на основе имитационных моделей, размещенных на распределенной архитектуре.

В настоящее время системы *распределённого* имитационного моделирования широко используются в практике проектирования и исследования сложных систем, требующих больших объёмов моделирования. Примером могут служить такие известные технологии распределённого имитационного моделирования как SPEEDES (Synchronous Parallel Environment for Emulation and Discrete Event Simulation), PARASOL (Parallel Solution) и HLA (High Level Architecture) [1, 2, 3].

Можно указать на следующие факторы, определяющие целесообразность разработки и применения методов распределенного имитационного моделирования: уменьшение (сокращение) времени реализации имитационных экспериментов. Например, моделирование сети, содержащей десятки сотен узлов, может потребовать многих дней или даже недель. В то же время реализация такой модели на n компьютерах в общем случае может сократить в n раз время моделирования; возможность использования географически распределенных компонент; возможность интеграции программ моделирования, реализованных различными разработчиками; уменьшение влияния сбоев в работе компьютеров на процесс моделирования в целом.

Известный специалист в области распределенного имитационного моделирования R. Fujimoto выделяет две категории процессов *распределенного имитационного моделирования* [4]:

– *аналитическое моделирование*, используемое для анализа поведения исследуемых систем на основе показателей эффективности. Основное требование к подобным процессам – как можно их более быстрая реализация. Такие процессы могут включать различного рода анимации для отображения деятельности исследуемых систем;

– *моделирование на основе распределенной виртуальной среды*. Здесь известны разработки приложений в двух направлениях. Первое направление связано, прежде всего, с коммерческой авиацией и задачами военных ведомств по обучению персонала. Так, система SIMNET (SIMulator NETworking) с 1991 по 1999 г. использовалась как эффективное средство для обучения армейского персонала в чрезвычайных ситуациях [4]. Второе направление относится к работам различных сообществ по компьютерным играм в среде Internet.

Традиционно имитационное моделирование используется в практике исследования сложных систем, для которых отсутствуют соответствующие математические фор-

мулировки. Тем не менее, исследователям и пользователям предоставляются средства формализации в виде множества методологических схем и технологических стандартов, предусмотренных общей методологией имитационного моделирования и поддерживаемых специально разработанными языками и системами моделирования.

К настоящему времени в зарубежной и отечественной практике последовательного имитационного моделирования накоплен большой опыт разработки и применения технологических стандартов, в первую очередь касающихся специфики создания имитационных моделей, проектирования схем и программ имитационных экспериментов, оценки достоверности имитационных моделей.

Программная имитационная среда, ориентированная на разработку имитационных приложений в соответствии со стандартами последовательного имитационного моделирования представлена на рис. 1.

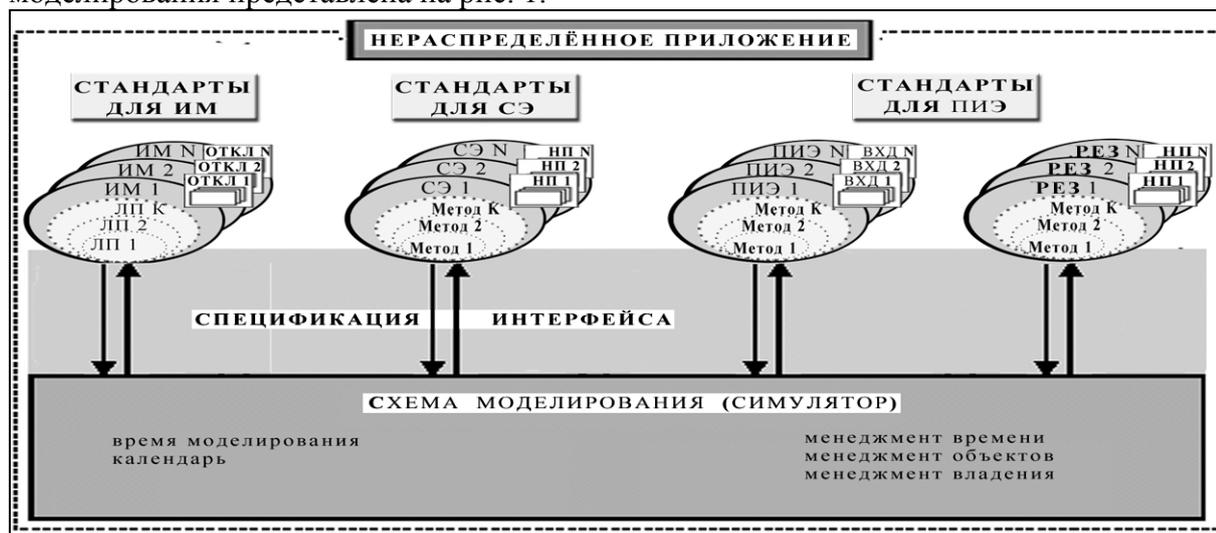


Рис. 1. Интегрированная среда поддержки процессов проектирования и реализации нераспределённых приложений

Эта среда включает:

- версии имитационных моделей (модели ИМ 1, ИМ 2,... ИМ N), отличающихся множествами логических процессов и множествами оцениваемых (наблюдаемых) выходных параметров. Каждая такая версия поддерживает либо определённую задачу имитационного моделирования в рассматриваемой проблемной области, либо использует различные методы и подходы к определению выходных параметров, представляемых и специфицируемых моделями ОТКЛИКОВ (модели ОТКЛ 1, ОТКЛ 2,... ОТКЛ N);
- версии схем имитационных экспериментов (схемы СЭ 1, СЭ 2,... СЭ N), содержащие наборы методов для поддержки различных этапов экспериментов (методы М 1, М 2,... М К) и множества наблюдаемых в эксперименте параметров (модели НП 1, НП 2,... НП К);
- версии программ имитационных экспериментов (программы ПИЭ 1, ПИЭ 2,... ПИЭ N), ориентированных на реализацию конкретных сценариев и скомпонованных на основе соответствующих версий имитационных моделей и схем экспериментов;
- накопленные результаты моделирования в данной проблемной области для различных сценариев экспериментов (модели НП 1, НП 2,... НП N). Результаты (данные РЕЗ 1, РЕЗ 2,... РЕЗ N) накапливаются и могут отображаться с помощью специальных методов (Метод 1, Метод 2,... Метод К);

- спецификацию интерфейса, определяющего базовый язык моделирования;
- систему моделирования («Симулятор»).

Первая основная группа – стандарты для ИМ – обусловлена общей методологией имитационного моделирования. Вторая группа – стандарты для СЭ – и третья группа – стандарты для ПИЭ – регламентируют создание типовых сценариев экспериментов и разработку программ имитационных экспериментов соответственно. В процессе реализации компьютерных экспериментов имитационная модель и соответствующая схема эксперимента интегрируются в рамках программы имитационных экспериментов с такими общесистемными компонентами как симулятор, время моделирования, календарь.

Основными функциональными модулями симулятора являются модули поддержки менеджмента времени, менеджмента объектов и менеджмента владения.

Сервис менеджмента времени является программной реализацией обобщенной модели функционирования исследуемых систем и выступает в роли диспетчера (планировщика) процесса моделирования: формирует календарь, поддерживает квазипараллельное исполнение цепочек событий и устанавливает текущее значение времени моделирования. В зависимости от типа исследуемых систем (непрерывных или непрерывно-дискретных) должны быть использованы различные версии симуляторов и стандартных схем реализации типовых сценариев.

Применение технологий распределённых вычислений в области имитационного моделирования потребовало разработки новых подходов и стандартов.

В середине 90-х прошлого столетия при министерстве обороны США был создан специальный офис DMSO (Defence Modeling&Simulation Office), который в 1996 году начал координировать исследования по созданию специальной технологии HLA (High Level Architecture), определяющей общую архитектуру всех разрабатываемых в США систем моделирования. С этого момента всем разработчикам средств и систем моделирования предписывалось следовать стандартам HLA. И до настоящего времени DMSO отвечает за распространение и поддержку всех стандартов HLA. В 1998 году HLA была номинирована для стандартизации в НАТО. Организация SISO (Simulation Interoperability Standards Organization) в настоящее время координирует с IEEE и OMG (Object Management Group) завершение работ по HLA стандартам.

Дадим краткую характеристику HLA как образца современных технологических стандартов в области распределенного имитационного моделирования применительно к созданию типовых архитектур, как систем моделирования в целом, их отдельных компонент, так и проблемно-ориентированных приложений.

Формально технология HLA определяется следующими компонентами:

- *спецификацией интерфейса* (Interface Specification);
- *шаблоном объектных моделей* OMT (Object Model Template), задающим формат информации, представляющей общий интерес для нескольких участников процесса моделирования;

– *правилами HLA*. Десять базовых правил определяют основные принципы разработки программного обеспечения имитационного моделирования в среде HLA или согласно стандартам HLA.

– специально разработанная для поддержки HLA *операционная система* RunTime Interface (RTI), которая включает шесть базовых групп по управлению интерфейсом: менеджмент федерации, менеджмент деклараций, менеджмент владения данными, менеджмент объектов, менеджмент времени и менеджмент распределенных данных. RTI выполняет функции симулятора на уровне взаимодействий между федератами. Расширенный набор функциональных модулей по сравнению с последовательным симулятором обусловлен необходимостью обеспечения взаимодействия между объек-

тами/процессами, размещёнными в различных федератах и, как следствие, на различных компьютерах сети.

– *спецификации интерфейса* (Interface Specification), которые определяют взаимодействие с RTI.

На рис. 2 представлена интегрированная среда поддержки процессов разработки и реализации распределенных приложений, базирующаяся на технологии HLA. Представленная на рисунке федерация (federation), являющаяся распределенным приложением, состоит из большого числа функциональных компонент, размещенных на распределенной архитектуре. К первому типу компонент относятся так называемые федераты (federates/simulations). Они могут быть системами последовательного компьютерного моделирования (одна из возможных схем функционирования такой системы была представлена на рис. 1), системами реального времени, живыми участниками (игроками), встроенным оборудованием, программными средствами поддержки разного рода услуг или сервисов (например, просмотр или сбор данных, накопление статистики). На платформе каждого федерата размещаются соответствующие проблемно-ориентированные приложения.

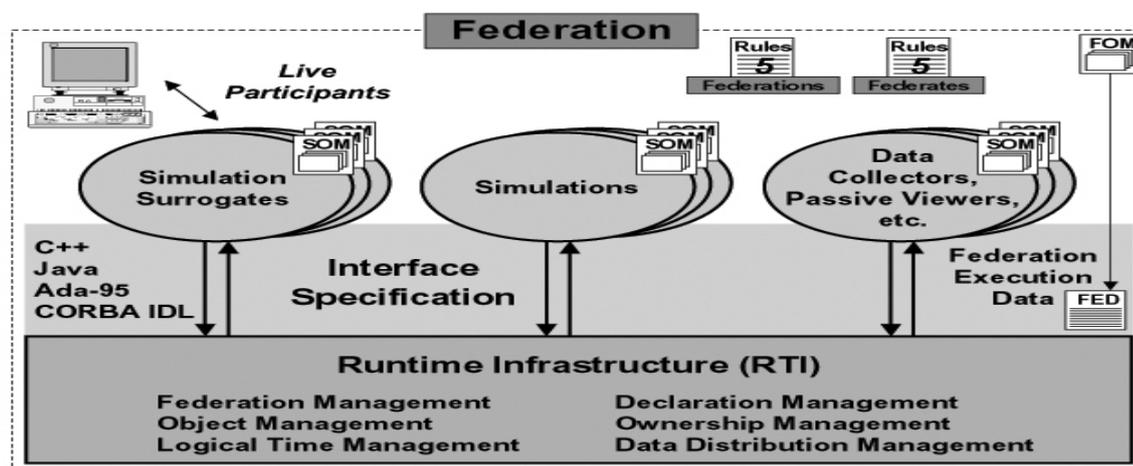


Рис. 2. Виртуальная HLA интегрированная среда поддержки процессов проектирования и реализации распределённых приложений

Федераты используют *менеджмент деклараций* для объявления их намерений относительно предоставляемой функциональности; *менеджмент объектов* – для регистрации, модификации и удаления генерируемых экземпляров объектов; *менеджмент владения* – для передачи атрибутов экземпляров объектов; *менеджмент времени* – для управления перемещением времени моделирования вдоль временной оси *федеративной модели*; *менеджмент распределения данных* – для уменьшения объемов передачи и получения некорректных данных.

HLA поддерживает процессы *распределенного моделирования* через *Правила Федерации* и специальную службу *Управления Временем*.

Наиболее известными схемами синхронизации *локального и глобального виртуального времени* являются *консервативная* и *оптимистическая*. Кроме управления процессом упорядоченного развития событий в соответствии с их временными отметками в *распределенном имитационном моделировании* существует проблема предотвращения и устранения последствий появления событий с временными отметками, относящимися к прошлым моментам *локального виртуального времени*. В зависимости от

подхода к контролю за такими событиями различают *консервативную* и *оптимистическую* стратегии управления процессами *распределенного имитационного моделирования*. В технологии HLA реализована *оптимистическая* схема [4].

До появления HLA разрабатываемые средства *распределенного имитационного моделирования* носили проблемно-ориентированный характер. Только технология HLA предложила универсальную обобщенную схему для разработки приложений на базе *распределенного имитационного моделирования*.

Одним из перспективных направлений развития методов и средств *распределенного имитационного моделирования* является реализация приложений на основе их моделирования как Web-приложений. Взаимодействие между компонентами имитационных моделей будет осуществляться через стандартный *web-интерфейс*. При этом web-базируемое моделирование это не просто приятная игра с Java-апплетами, а целый комплекс аспектов и проблем: моделирование как гипермедия (тексты, аудио, изображения, видео) использует естественные возможности WWW создавать, запоминать и выбирать документы, содержащие все эти элементы, возрастает роль моделирования в создании новой методологии и парадигм дистанционного обучения; возможность быстрой разработки моделей, получения результатов и их электронной публикации; web-базируемый доступ к программам моделирования; распределенная разработка и реализация имитационных моделей, которая предполагает использование web-ориентированных технологий (типа CORBA, RMI) как инфраструктур для поддержки процессов моделирования (средства, виртуальные среды и обобщенные схемы для поддержки проектирования и разработки распределенных имитационных моделей); моделирование WWW с целью улучшения и оптимизации ее характеристик.

К перспективным направлениям *распределенного имитационного моделирования* следует отнести разработку нового поколения языков моделирования, способных выражать параллелизм в моделях, возможности управления процессом моделирования, развития виртуальной среды моделирования; использование средств *распределенного имитационного моделирования* в решении проблем оптимизации; разработка «встроенных систем моделирования».

Литература

1. **Киндлер Е.** Языки моделирования. – М.: Энергоатом издат, 1985.- 287 с.
2. **Технология системного моделирования/Е.Ф.Аврамчук, А.А.Вавилов, С.В.Емельянов и др.;** Под общ. ред. С.В.Емельянова и др. – М.:Машиностроение; Берлин: Техник, 1998. – 520 с.
3. **Бигдан В.В., Гусев В.В., Марьянович Т. П., Сахнюк М.А.** Становление и развитие имитационного моделирования в Украине//Пр. міжнар. симп. «Комп'ютери у Європі. Минуле, сучасне та майбутнє». – К., 1998. – С.182–193.
4. **Fujimoto R.M.** Parallel and Distributed Simulation//Proc. of the Winter Simulation Conf. – 1999. – P. 122–131.
5. High Level Architecture Object Model Template Specification. Version 1.3. U.S. Department of Defense. 5 February, 1998 (27 July 1998 Document Release).