

имитационные модели, созданные независимо разными разработчиками, обеспечить высокую степень интеграции компьютерных моделей: на уровне графических интерфейсов, единого информационного и геоинформационного пространства. Обеспечить интерактивный многопользовательский режим редактирования сценариев моделирования, мультиагентный подход к моделированию, возможность создания настраиваемых рабочих мест операторов, возможность вмешательства оператора в процесс моделирования, поддержку параллельных вычислений, отображение результатов моделирования в 2-мерных и 3-мерных представлениях, единое хранилище данных – в том числе геоинформационное и картографическое обеспечение – трехуровневую схему параллельного счета (ABU, MPI, OpenMP), кроссплатформенность (Windows XP/7/8, Astra Linux, Scientific Linux и т. д.), модульность и масштабируемость. Вышесказанное подтверждается успешным использованием платформы для разработки ИМК, моделирующих вооруженное противоборство, транспортную систему.

Литература

1. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) – Framework and Rules. IEEE-SA Standards Board. Piscataway NJ 08855-1331 USA, 2000.
2. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) – Federate Interface Specification. IEEE-SA Standards Board. Piscataway NJ 08855-1331 USA, 2000.
3. IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) – Object Model Template (OMT) Specification. IEEE-SA Standards Board. Piscataway NJ 08855-1331 USA, 2000.
4. MPI: A Message-Passing Interface Version 2.2. University of Tennessee, Knoxville, Tennessee, 2009.
5. MPI: A Message-Passing Interface Version 3.0. University of Tennessee, Knoxville, Tennessee, 2012.
6. OpenMP Application Program Interface Version 3.1. OpenMP Architecture Review Board, 2011.
7. OpenMP Application Program Interface Version 4.0. OpenMP Architecture Review Board, 2013.

МЕТОДИКА ИНТЕГРАЦИИ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ В ВИЗУАЛИЗАЦИОННО-ИНТЕГРИРУЮЩУЮ ПЛАТФОРМУ «АЛЬКОР»

*П. В. Ермаков, К. В. Задорожный, Е. В. Лапшин, И. В. Евтушенко,
А. В. Голяков, А. П. Ермаков*

Российский Федеральный Ядерный Центр –
Всероссийский НИИ экспериментальной физики, г. Саров

В настоящее время имитационное моделирование развивается в различных областях науки и техники. Разными группами разработчиков создано множество моделирующих комплексов, обеспечивающих замкнутый цикл имитационного моделирования всевозможных систем. Стандартными компонентами моделирующих комплексов (МК) являются: ядро моделирования, система хранения данных, визуализатор, ПО обработки результатов моделирования, ПО задания исходных данных для моделирования, в некоторых МК геоинформационное обеспечение.

Часто возникают задачи использования компьютерных моделей (КМ), разработанных в рамках одних МК в других задачах и областях. На практике адаптация компьютерных моделей одного МК к другому трудоемкая задача. Адаптация подразумевает доработку компьютерных моделей для

возможности совместной работы в едином информационном пространстве, а также написание ряда программных интерфейсов модели для ее встраивания в комплекс.

На данный момент во ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» разрабатывается визуализационно-интегрирующая платформа «Алькор». Платформа предназначена для создания компьютерных комплексов, моделирующих сложные технические системы. Ее целью является возможность объединения разнородных компьютерных моделей, созданных независимо в разных организациях, в единую комплексную компьютерную модель (ККМ). Каждая компьютерная модель, входящая в комплекс, представляется как «черный ящик», с унифицированными входами/выходами. Все модели имеют слабые связи с перечисленными выше стандартными компонентами, что позволяет в зависимости от потребности и специфики решаемых задач заменять составные части на аналогичные по функциональности.

Основной подход, применяемый в «Алькор» – это имитационное моделирование, когда каждая модель действует в соответствии с заложенной в ней программой поведения и на основании взаимодействия с другими компьютерными моделями. В результате глобальное поведение системы создается из децентрализованного поведения каждой из моделей. Такой подход позволяет решать классы задач, которые сложно решить аналитически либо при помощи иных подходов, например:

- противоборство в космосе, на суше, в воздухе, на воде;
- моделирование транспортной инфраструктуры.

Объединение моделей в единый комплекс происходит при помощи использования HLA (High Level Architecture) – стандарта позволяющего унифицировать обмен данными между разрозненными программными продуктами. Для этого создается специальный конфигурационный файл, описывающий структуры данных, которые могут передаваться через HLA. Данный файл должен быть у всех моделей, входящих в состав комплексной модели. В терминах HLA данный файл называется FOM-файл (Federation Object Model). Все модели, общающиеся через HLA в рамках выполнения одной задачи моделирования, называются федератами. Совокупность всех федератов называется федерацией. Программное обеспечение HLA позволяет моделям абстрагироваться от конкретного способа передачи данных между федератами (через разделяемую память, посредством локальной сети) и сконцентрироваться непосредственно на обработке данных.

Реализация HLA такова, что разные федераты, входящие в федерацию, могут запускаться на различных вычислительных узлах. Одновременно с этим, любой федерат может быть построен с использованием MPI, что позволяет распараллелить выполнение федерата по нескольким вычислительным узлам. В пределах одного вычислительного узла работа федерата распараллеливается при помощи OpenMP. Таким образом, создается трехуровневая система распараллеливания: HLA – MPI – OpenMP. Подобная архитектура позволяет использовать мощные многопроцессорные вычислительные системы с разделяемой памятью (супер-ЭВМ).

Для отображения результатов вычислений «Алькор» использует ПреПостПроцессор (ППП). ППП позволяет отображать как 3D, так и 2D графику. В 3D режиме отображается:

- геоинформационная обстановка (поверхность Земли, рельеф, города, улицы, водные акватории и т. д.);
- условные обозначения различных объектов;
- 3D модели средств, участвующих в моделировании (танки, самолеты, ракеты и т. д.);
- различные примитивы: линии (например, для обозначения траекторий движения), объемные фигуры с различным градиентом закрашивания (например, для отображения зоны работы РЛС).

Визуализация результатов моделирования идет в режиме реального времени. Пользователь имеет возможность управлять процессом отображения: ускорить, замедлить, приостановить, запустить обратное воспроизведение и переходить на любой доступный кадр отображения. Также предусмотрены индикаторы, которые могут отображать ту или иную информацию, получаемую в ходе моделирования от компьютерных моделей. Важным моментом является тот факт, что на ход выполнения моделирования это не влияет – модели работают независимо от визуализации.

Еще 2 задачи, которые выполняются при помощи ППП, это подготовка сценария и просмотр статистики моделирования. Подготовка сценария – это размещение всех участвующих в моделировании объектов на геофоне и задании им всех необходимых для работы данных (рис. 1).

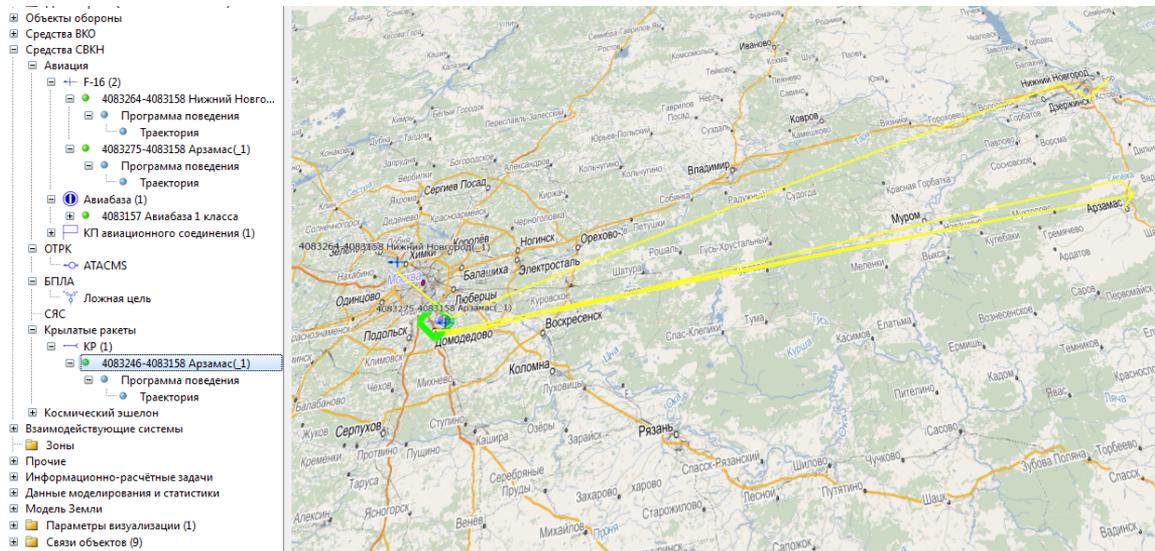


Рис. 1. Подготовка сценария

Просмотр статистики позволяет произвести оценку итоговых результатов работы комплексной компьютерной модели, при заданных начальных условиях. Следует отметить, что множественный запуск одного и того же сценария может приводить к разным результатам, если в его состав входят модели с недетерминированным поведением. В этом случае, возможные варианты событий реализуются при помощи многократного запуска одного и того же сценария, сбора статистики по результатам каждого запуска и последующему анализу данных результатов.

Все федераты, входящие в состав федерации, являются компьютерными моделями (за исключением нескольких служебных федератов). Каждый федерат может содержать, в общем случае, несколько КМ. Так как КМ разрабатываются, в том числе, сторонними организациями, была разработана методика, которая описывает последовательность действий, при помощи которых можно интегрировать любые модели.

Методика интеграции компьютерных моделей

Существует несколько уровней интеграции КМ в ККМ. В зависимости от специфики конкретной КМ, ее интеграция на некоторых уровнях может не потребоваться. Однако большинство КМ хорошо укладывается в рамки данной обобщенной модели.

Возможны следующие уровни интеграции КМ:

- в части общего информационного пространства;
- в части исходных данных;
- в части выходных данных;
- в части использования общей системы хранения данных (СХД);
- в части общего геоинформационного пространства.

Интеграция компьютерной модели на уровне общего информационного пространства

Процесс интеграции КМ на уровне общего информационного пространства сводится к поддержке данной КМ протокола информационно-логического взаимодействия (ИЛВ). Данный документ (ИЛВ) содержит в себе следующую информацию:

- протокол управления федерацией (запуск, останов, пауза);
- полное описание формата структур, используемых для передачи данных посредством HLA;

- полное описание формата структур, используемых для передачи взаимодействий между объектами;
- описание структур, описывающих зоны и сектора (обнаружения, поражения и т. д.);
- разработки частных схем и общей схемы информационного обмена в ККМ.

Результатом интеграции КМ на уровне общего информационного пространства является полное (либо частичное, если это ничему не противоречит) соответствие федерата компьютерной модели требованиям протокола ИЛВ.

Интеграция КМ на уровне исходных данных

Цель интеграции КМ на уровне ИД: обеспечить информационное описание КМ достаточное для разработки программных средств, обеспечивающих инициализацию и подготовку КМ к началу моделирования. В результате интеграции КМ на уровне ИД, разработчиком КМ должны быть представлены:

- состав и структура всех необходимых для работы КМ ИД;
 - состав и структуру тактико-технических характеристик (ТТХ) всех моделируемых объектов, необходимых для работы КМ;
 - состав и структуру данных сценария моделирования, необходимых для работы КМ.
- Сценарии моделирования включают в себя такие данные как место расположения, ориентацию, программу поведения и т.п., если перечисленные параметры поддерживаются КМ.

Результатом интеграции КМ на уровне ИД является протокол, который включает в себя указанную выше информацию. Выпускаемый документ проходит этап итеративного согласования. В результате согласования каждая КМ, входящая в состав ККМ, должна быть обеспечена всеми требуемыми для ее работы ИД.

Для того чтобы модель могла получать доступ к ТТХ, она должна иметь в своем составе коннектор к единой базе данных, которая используется для хранения всех тактико-технических характеристик моделей и объектов, используемых при имитационном моделировании (см. рис. 2).

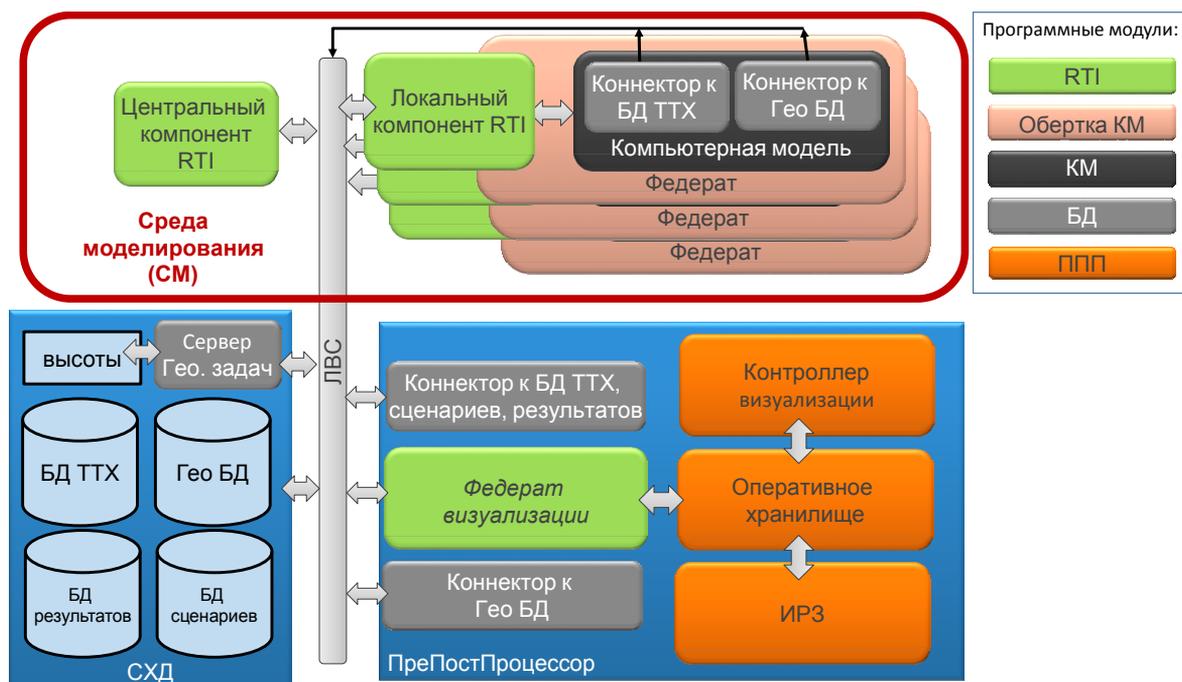


Рис. 2

Информационное наполнение БД ТТХ осуществляется данными, предоставляемыми разработчиками компьютерных моделей данных средств.

Интеграция КМ на уровне выходных данных

Цель интеграции КМ на уровне выходных данных: обеспечить соответствие выходных данных модели стандартам, принятым в программе визуализации (ПреПостПроцессор) и для сбора статистики. Поддерживаются следующие типы отображаемой визуальной информации:

- графическое представление объектов (3D либо 2D модели);
- перемещение объектов;
- изменение ориентации объектов в пространстве;
- изменение состояния объекта;
- траектория движения объекта;
- вспомогательные графические объекты (зоны РЛС, сектора поражения, анимация взрывов и т. д.).

Процесс интеграции КМ на уровне статистических показателей сводится к поддержке данной КМ протокола информационно-логического взаимодействия в части передачи данных для расчета статистики и показателей эффективности. Данный документ (протокол ИЛВ) содержит в себе информацию о составе и формате всех сообщений статистики, которые может посылать КМ.

Статистическая информация, выдаваемая КМ в процессе ее работы, позволяет по окончании имитации произвести анализ моделирования системы. Статистическая информация передается через HLA и затем записывается в БД при помощи специализированного федерата. Это позволяет ослабить связь между моделями и БД.

Немаловажная составляющая выходных данных – отображение детального протокола работы компьютерной модели. Состояние объекта передается в определенном параметре структуры данных HLA, в соответствующие моменты времени. Эту информацию принимает визуализатор платформы и отображается в специализированном диалоге.

Интеграция компьютерной модели на уровне общего геоинформационного пространства

Для учета зависимостей от параметров атмосферы, рельефа, водной поверхности и др. (например, связанных с условиями прямой видимости объекта, прокладкой маршрутов, преодолением водных преград) компьютерные модели в процессе работы могут использовать данные единого геоинформационного пространства ВИП «Алькор» (геоданные). Импортированные в систему геоинформационного обеспечения и картографической поддержки геоданные хранятся на сервере и включают в себя данные фоноцелевой обстановки, цифровой модели рельефа и векторные данные различных карт местности.

Интеграция компьютерных моделей в единое геоинформационное пространство осуществляется с помощью специального программного модуля – геоконнектора. Геоконнектор реализует одинаковые механизмы взаимодействия с геоданными как для отдельных компьютерных моделей, так и для всех элементов ВИП «Алькор», включая подсистемы визуализации, поиска населенных пунктов и др. Таким образом, все компоненты визуализационно-интегрирующей платформы используют единое геоинформационное пространство на всех этапах работы.

Геоконнектор обеспечивает выполнение следующих типов геоинформационного взаимодействия:

- получение изображений текстуры поверхности и цифровой модели рельефа по протоколам передачи геопространственных растровых данных;
- постановку SQL запросов к векторным данным;
- постановку информационно-расчетных задач, связанных с обработкой геоданных.

Пользователь на этапе создания сценария моделирования специальными средствами, как конструктор, послойно формирует конфигурацию модели Земли, которая с помощью HLA рассылается каждой компьютерной модели и затем поступает на вход геоконнектору. Конфигурирование карто-

графических слоев выполняется с целью модификации исходных геоинформационных данных, необходимых для расчета конкретной моделируемой задачи. Подключаемые слои картографических данных последовательно размещаются поверх базовой подложки геоинформационного фона в порядке добавления.

Модель Земли является базовым элементом для визуализации процессов подготовки сценария и анализа хода моделирования на фоне реалистичного отображения земной поверхности (рис. 3). Визуализация на геофоне выполняет погружение пользователя в единое геоинформационное пространство, тем самым существенно повышает эффективность анализа данных и зачастую позволяет снизить время принятия решения.



Рис. 3

Типовой федерат

Для того, чтобы ускорить работу по интеграции компьютерных моделей, был создан «Типовой федерат». По существу, это каркас приложения, после наполнения которого получится готовый к работе федерат. Типовой федерат предоставляет ряд возможностей:

- облегченные интерфейсы для работы с HLA, включающие в себя адаптеры данных и взаимодействий. Это позволяет КМ полностью абстрагироваться от канального уровня HLA;
- стандартные разборщики конфигурационных файлов;
- коннекторы к СХД. Коннекторы имеют единый программный интерфейс, при этом позволяя использовать различные базы данных, наиболее подходящие для решения текущей задачи.

Каркас приложения содержит в себе ряд функций обратного вызова, которые образуют необходимый и достаточный интерфейс:

- инициализация – происходит считывание стандартных файлов конфигурации и информации специфичной для данной модели;
- публикация и подписка – на данном этапе модель сообщает в инфраструктуру времени выполнения (RTI) о том, какие структуры данных из HLA ей требуются и какие данные она будет предоставлять;
- счетный шаг – это один шаг моделирования (один квант). В данной функции КМ производит обновление данных и взаимодействий из HLA, их обработка и анализ с последующей выдачей информации о моделируемом объекте.

Функции инициализации и подписки вызываются единожды, а счетный шаг – вызывается периодически на протяжении всего процесса имитации, являясь ключевой функцией.

Для облегчения работы с различными БД типовой федерат предоставляет коннекторы, обладающие однотипным интерфейсом вне зависимости от реально используемых баз данных, что позволяет приложению абстрагироваться от особенностей работы с конкретными БД.

Данная методика была отработана при реализации ряда проектов, с участием большого количества организаций-соисполнителей. На базе ВИП «Алькор» создано несколько имитационных моделирующих комплексов (ИМК) с интегрированными в них компьютерными моделями разных организаций. Такой подход позволил в несколько раз сократить время разработки ИМК.

ПОПРАВКИ НА НЕЛИНЕЙНОСТЬ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ ОДНОКРАТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

В. А. Качалкин, А. И. Никифоров

Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН, г. Казань

Теоретические основы математического моделирования технических систем однократного применения в настоящее время являются достаточно развитыми и экспериментально обоснованными. На основании детерминированных методов во многих случаях имеются конкретные аналитические соотношения типа

$$y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_N), \quad (1)$$

связывающие функционально результирующий обобщенный параметр y (эндогенную переменную) с составляющими параметрами x_1, x_2, \dots, x_N (экзогенными переменными), где N – количество экзогенных переменных. При этом, как правило, x_1, x_2, \dots, x_N являются случайными величинами, так как они подвержены различным случайным колебаниям вокруг некоторых средних уровней. В силу этого результирующий определяющий параметр y следует рассматривать также как случайную величину, изменяющуюся случайным образом под воздействием возмущающих факторов x_1, x_2, \dots, x_N . Величинам x_1, x_2, \dots, x_N свойственны случайные погрешности, носящие случайную природу. Обычно эти погрешности бывают небольшими, поэтому случайный результирующий обобщенный параметр y , в общем случае не являющийся линейным во всем диапазоне изменения случайных аргументов x_1, x_2, \dots, x_N , оказывается почти линейным в узком диапазоне их случайных изменений. Из курса математического анализа известно, что любая непрерывная дифференцируемая функция в достаточно узких пределах изменения аргументов может быть приближенно аппроксимирована линейным приближением, т. е. линеаризована. Возникающая при этом ошибка тем меньше, чем более узкими становятся границы изменения аргументов (в данном случае параметров x_1, x_2, \dots, x_N), представляется настолько малой, что в этой области функция может быть с достаточ-