

УДК 004.94:62

РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ В ИНФРАСТРУКТУРЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ**Ноженкова Л.Ф., Исаева О.С., Марков А.А.***Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, e-mail: expert@icm.krasn.ru*

Темой исследования, представленного в работе, является реализация технологии повторного использования имитационных моделей в инфраструктуре имитационного моделирования. Выполнен обзор методов и стандартов, поддерживающих технологии переносимости моделей. В качестве базового выбран стандарт Европейского космического агентства Simulation model portability (SMP2). Он позволяет объединять модели различных производителей в единый комплекс. Разработан оригинальный метод проблемно-ориентированной интеграции моделей. Метод заключается в дополнении SMP2-моделей структурно-параметрическим и функциональным описанием, формирующим семантический уровень представления объекта моделирования. Реализация метода позволяет решать задачи совместимости и взаимодействия моделей в предметно-ориентированной инфраструктуре имитационного моделирования, предназначенной для работы специалистов – конструкторов бортовой аппаратуры космических аппаратов. Дополнение структуры модели семантическими конструкциями в терминах предметной области позволяет легко разбираться в устройстве как создаваемых конструктором собственных моделей, так и моделей, созданных другими специалистами, а также представлять моделируемое оборудование в целом.

Ключевые слова: космический аппарат, бортовая аппаратура, имитационное моделирование, технология переносимости имитационных моделей (SOMR), стандарт Simulation model portability (SMP2)

IMPLEMENTATION OF THE SIMULATION-ORIENTED MODEL REUSE TECHNOLOGY IN THE MODELING INFRASTRUCTURE**Nozhenkova L.F., Isaeva O.S., Markov A.A.***Institute of Computational Modelling of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, e-mail: expert@icm.krasn.ru*

The subject of the research presented in the paper is the implementation of the simulation-oriented model reuse technology in the simulation infrastructure. A review of methods and standards supporting the technology of simulation-oriented model reuse is provided. The Simulation model portability standard (SMP2) of the European Space Agency was chosen as the base. It allows you to unite different manufacturer's models in complex. We suggest an original method of problem-oriented integration of models. The method consists in adding to the SMP-models structural-parametric and functional description creating a semantic level of presentation of a modeled object. Implementation of this method allows to solve the tasks of compatibility and interoperability of the SMP-models in the problem-oriented infrastructure of simulation modeling. The infrastructure is designed for the work of spacecraft onboard equipment designers. Adding the structure of the model to the semantic constructions in terms of the subject area makes it easy to understand the device, both those created by the designer of own models, and models created by other specialists, and also to represent the simulated equipment as a whole.

Keywords: spacecraft, onboard equipment, simulation modeling, technology of simulation-oriented model reuse, standard simulation model portability (SMP2)

В мировой практике научных исследований всё большую популярность набирают технологии повторного использования имитационных моделей (Simulation-oriented model reuse, SOMR) [1]. Они позволяют обеспечивать переносимость моделей различных производителей, повторно использовать существующие модели, эффективно решать вопросы их взаимодействия в крупных комплексных проектах. Интерес к технологии SOMR неуклонно растет в связи с развитием систем моделирования, ростом количества имитационных моделей и расширением требований к имитационным системам. На сегодняшний день современные имитационные системы содержат различные возможности моделирования, графические оболочки для конструирования моделей, визуализации имитационных

экспериментов и интерпретации выходных результатов. Исследователи хотят в полной мере использовать существующие системы имитации и ресурсы имитационной модели и при этом иметь возможность строить модели для удовлетворения потребностей различных приложений. Это возможно, если используемые ими системы моделирования поддерживают технологию повторного использования моделей. Комплексная модель обычно состоит из большого числа разнородных компонентных моделей. Чем сложнее моделируемая система, тем сложнее ее модель. Гетерогенность комплексной модели отражается в гетерогенности методов и инструментов моделирования. Если эти модели можно будет правильно и эффективно использовать, это значительно сократит затраты на разработку модели и умень-

шит сроки реализации и повысит качество готовых решений.

Процесс повторного использования имитационных моделей предполагает два актуальных направления исследований. С одной стороны, построение или модификация существующих моделей для повторного использования. С другой стороны, создание среды моделирования для поддержки данной технологии. Как правило, технологии повторного использования поддерживаются специальными стандартами или сводами правил, которые определяют универсальные подходы к организации программных имитаторов, обеспечивают использование имитационных моделей и их переносимость между средами моделирования.

Авторы в своей работе провели исследование существующих подходов к организации программных систем с технологией повторного использования, реализовали программное обеспечение и разработали метод интеграции имитационных моделей [2]. Разработанные программные решения предназначены для обеспечения комплексной поддержки конструирования бортовой аппаратуры космических систем. Бортовое оборудование имеет собственную логику функционирования, состоит из подсистем различного назначения и, как правило, изготавливается различными производителями. Экономически эффективно проектировать и исследовать взаимодействие таких составных устройств не на готовых образцах, а на компьютерных имитационных моделях. В этой связи актуальным является создание программных инструментов, позволяющих строить собственные имитационные модели, а также интегрировать сторонние модели в комплексное решение [3].

Выбор технологии повторного использования

Существуют некоторые классические методы и технологии, которые можно отнести к SOMR. В работах [1, 4] проведен широкий обзор методов, позволяющих реализовывать повторное использование имитационных моделей. Например, технология Meta Model, Model Engineering, базовая объектная модель (BOM), стандарты (SMP / SMP2, HLA, DIS и др.), специализированные языки моделирования (Modelica и др.), общие языки моделирования (UML, SMDL, XML, SRML и др.), технологии моделирования на основе онтологии, среды моделирования, ориентированные на повторное использование (COTS, Simulink и др.), технологии Semantic Web Service и многие другие.

Технология Meta Model представляет собой способ абстрактного моделирования. Она содержит инструменты создания интерактивной структурной модели на основе архитектуры компонентов для взаимодействия с пользовательскими интерфейсами. Подход применялся для оценки стихийных бедствий [5]. Технология Model Engineering предназначена для решения проблем типовой неоднородности. Она решает вопросы поддержки полного жизненного цикла моделей с минимальными затратами и позволяет динамически изменять модели, постоянно совершенствуя и внося новые элементы. Технология реализует язык описания и построения моделей. В ее состав входят инженерные модели и среда, выполняющая моделирование [6].

Универсальные языки разметки также могут обеспечивать технологии повторного использования. Например, XML позволяет создавать открытые, стандартизированные форматы данных, служит для межплатформенного анализа, поддержки вычислений и обмена результатами [7]. Кроме того он может использоваться в качестве основы для файлов, в которых хранится имитационная модель. Это дает преимущества стандартизованного доступа к данным, облегчает добавление новых возможностей и плагинов, создает условия для интеграции. Основанный на XML язык SRML предоставляет средства для описания поведения данных. SRML на равных работает как с программной логикой, так и с данными.

Кроме того, для реализации технологии повторного использования имитационных моделей существует целый ряд стандартов, определяющих правила построения систем имитационного моделирования. Стандарт High Level Architecture (HLA) [4] определяет архитектуру распределенных систем имитационного моделирования. Первоначально он разрабатывался для потребностей военной отрасли. HLA предоставляет метод объединения нескольких автономных имитационных моделей в одну распределенную имитационную систему и обеспечивает высочайший уровень взаимодействия между имитационными моделями и их повторного использования. HLA представляет собой стандартное средство, используя которое отдельные имитационные модели могут взаимодействовать между собой через общий документ FOM (Federation Object Model), в котором описываются все типы информации, которой они обмениваются [7]. Еще один стандарт, предназначенный для военных целей – Distributed Interactive Simulation (DIS). DIS – это открытый стандарт для сопровождения взаимодействия

моделей, существующих в режиме реального времени, на распределенных системах.

В космической отрасли базовым технологическим стандартом, определяющим правила построения систем имитационного моделирования, является стандарт Европейского космического агентства – Simulation Model Portability (текущая редакция SMP2) [8]. Программные среды, реализующие стандарт SMP2, называются Инфраструктуры имитационного моделирования (Simulation Infrastructures). В основе стандарта лежит метамодель, написанная на формальном языке Simulation Model Definition Language (SMDL) [9]. Стандарт SMP2 нашел широкое применение в задачах моделирования космических систем. На нем построены такие инфраструктуры, как SimSAT Европейского космического агентства [10], SimTG – Astrium Satellites [11], симулятор европейского центра управления полетами – SWARMSIM [12] и др. Разрабатываются и применяются программные комплексы, выполняющие автоматическую передачу моделей в SMP2-стандарт, например MOSAIC для MATLAB / Simulink [13]. Положительный опыт использования стандарта SMP в космическом приборостроении, представленный в открытой печати, показывает актуальность построения имитационных моделей на основе стандарта SMP2.

Авторами разрабатывается инфраструктура имитационного моделирования, основанная на стандарте SMP2. Заложенные в стандарте архитектурные требования к программному обеспечению дополнены методами информационно-графического и интеллектуального моделирования [14]. Предложен оригинальный метод интеграции моделей, который позволяет выполнять композицию различных моделей в комплексное решение.

Моделирование функционирования бортовой аппаратуры космических систем

Специализация разработчиков космического оборудования не позволяет им создавать целиком модели функционирования бортовой аппаратуры космических систем. Возникает необходимость в интеграции отдельных моделей, разработанных различными производителями, в единое решение. Полученная в результате интеграции комплексная модель должна обеспечивать исследование поведения моделируемого объекта в целом и влияния составных частей друг на друга, при этом она должна быть легко модифицируема и расширяема. В нашем случае задача усложняется тем, что не все модели могут быть выполнены

по единой технологии. В некоторых случаях разработчикам бортовой аппаратуры предпочтительнее использовать специализированную среду Labview и строить модели в виде виртуальных инструментов. Другие модели могут быть реализованы на C++ и иметь дополнительное описание на SMDL, соответствующее стандарту SMP2. Кроме того, опыт создания имитационных моделей показал, что для моделирования поведения и взаимодействия объектов, там, где физические свойства модели оказываются не важны, предпочтительно использовать интеллектуальные методы представления знаний для описания функций модели. В нашей инфраструктуре имитационного моделирования в этом случае используются правила (condition-action rules). Правила представляют собой символичные конструкции вида «Если A то B », где левая часть A задает условие выполнения правила, а правая часть B – действия, осуществляющие изменение состояния модели. Такой подход получил широкое применение в различных системах проектирования и технического конструирования, он позволяет не только получать качественные решения, но и обмениваться знаниями между группами инженеров, имеющими большой опыт в различных аспектах решаемых задач. В нашем случае правила содержат множества входных воздействий: команды, импульсы, сигналы, запросы; множества воздействий внешней среды: изменение параметров функционирования, воздействия для моделирования нештатных ситуаций; множество наблюдаемых параметров и моменты времени наблюдения.

Для обеспечения взаимодействия разнородных имитационных моделей, реализованных по технологии SMP2, в виде виртуальных инструментов или правилами базы знаний и их повторного использования в инфраструктуре имитационного моделирования разработан метод проблемно-ориентированной интеграции. Описание модели на языке SMDL расширено семантическими конструкциями предметной области и базами знаний, определяющих логику работы моделей. Импорт моделей в инфраструктуру выполняется в два этапа.

На первом этапе загружаются объекты из SMDL-описания в соответствии со структурой классов, заданной в SMP2 [9]. Фрагмент построенного при загрузке дерева классов показан на рис. 1. Загрузка выполняется автоматически по всем структурам из SMDL-описания. Это позволяет избежать потерь сущностей и в полной мере использовать механизмы взаимодействия моделей, заложенные в стандарте SMP2.

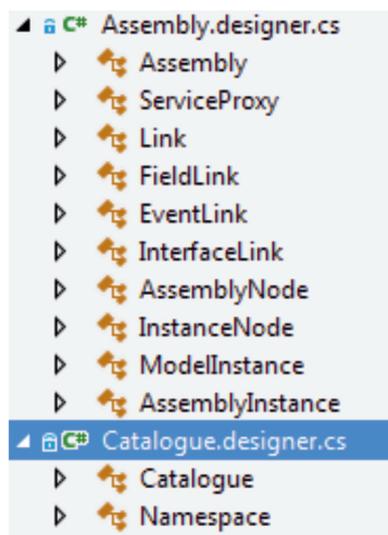


Рис. 1. Фрагмент дерева классов стандарта SMP

Как видно из рисунка, при загрузке создаются структуры каталога, пространства имен, конфигурации и другие. Вместе с моделью загружаются элементы моделирования: сборка и планировщик. Сборка в SMP2 описывает конфигурацию множества экземпляров моделей, определяет начальные значения для всех полей, экземпляры потомков, а также привязку интерфейсов на основе типов, событий или полей данных. Планировщик определяет, каким образом распланированы точки входа экземпляров моделей в сборках. В нем описываются последовательности вызовов моделей и методы перехода между состояниями имитационного моделирования. Описания структур и бинарные файлы, реализующие функции модели, сохраняются в базе данных.

На втором этапе созданные структуры модели дополняются структурно-параметрическим и функциональным описанием, формирующим семантический уровень представления объекта моделирования. Для выполнения этого этапа разработан мастер загрузки (рис. 2).

Окно мастера загрузки содержит область графического представления модели, панели задания функций модели и настройки параметров. Мастер позволяет выполнять детальную настройку параметров загружаемой модели, определять интерфейсы приема-передачи данных, типы данных и задавать обработчики событий моделирования. Для моделей, не имеющих собственного SMDL-описания, оно формируется программно на основе данных мастера загрузки. Если SMDL-описание было загружено, то мастер выполняет анализ дерева

объектов и сопоставляет элементы дерева с объектами проблемно-ориентированной среды. Задание семантических конструкций выполняется программными инструментами информационно-графического моделирования. Они позволяют дополнять модели структурами команд и телеметрии, определять интерфейсы приема-передачи данных, а также задавать коммутационные соединения и направления информационного взаимодействия.

Приведение различных типов моделей к единым компонентам среды моделирования позволяет конструктору бортовой аппаратуры строить имитационные модели, применяя различные варианты реализации подмоделей. Вне зависимости от того, реализованы ли функции модели на специализированном языке программирования или описаны в виде правил, пользователь будет оперировать ими одинаково. Различия реализаций для него будут видны только в виде пиктограмм элементов графической модели. Это позволяет использовать заданные в стандарте методы для выполнения имитационного моделирования: хранилище времени (Time Keeper), планировщик (Scheduler), система логирования (Logger), менеджер событий (Event Manager), реестр ссылок (Link Registry), система вызова моделей (Resolver) [8]. При выполнении имитационного моделирования каждая модель выполняет заложенные в нее алгоритмы и взаимодействует с другими моделями посредством подписок на выходные данные других моделей. Подписки реализуются на основании построенного информационно-графического описания.

Заключение

Интеграция имитационных моделей на основе стандарта SMP2 позволяет получать разнообразные и качественные решения, используя знания групп инженеров, имеющих большой опыт проектирования бортовой аппаратуры. Расширение SMDL-описания моделей семантическими конструкциями предметной области и базами знаний, описывающими логику функционирования, обеспечивает взаимодействие разнородных имитационных моделей: реализованных по технологии SMP2, в виде виртуальных инструментов или правилами базы знаний. Семантическое представление модели и правил функционирования в терминах предметной области позволяет легко разбираться в устройстве как создаваемых конструктором собственных моделей, так и моделей, созданных другими специалистами, а также представлять моделируемую систему в целом.

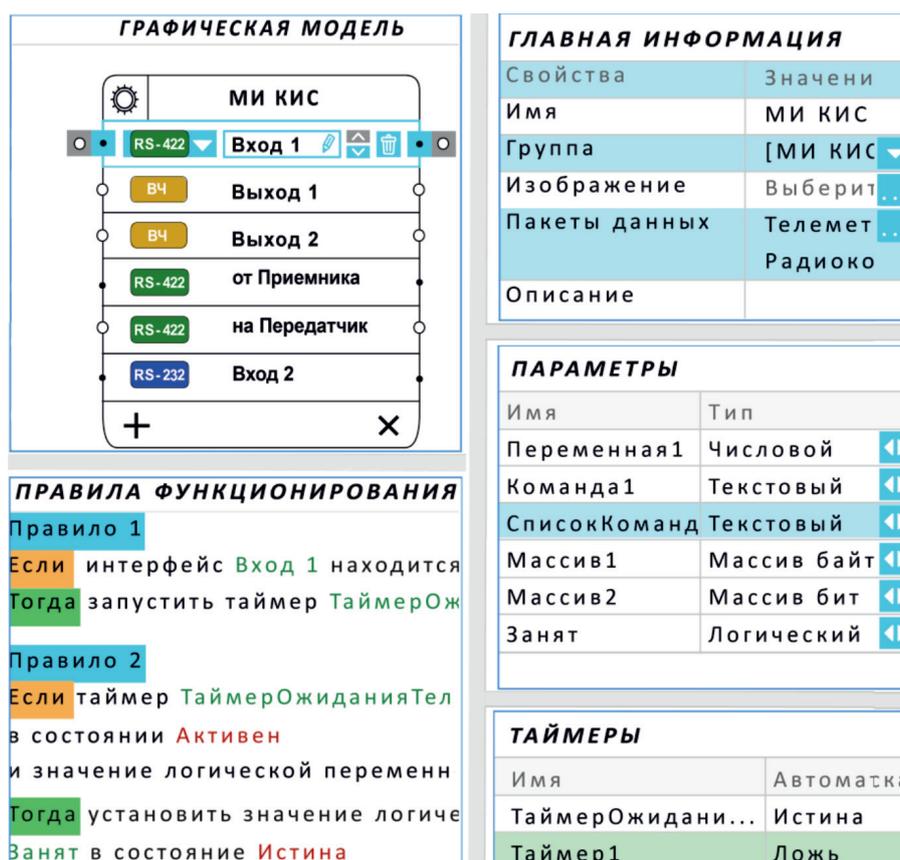


Рис. 2. Интерфейс мастера загрузки имитационных моделей

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Красноярского края в рамках научного проекта № 16-41-242042.

Список литературы

1. Liu Y., Zhang L., Zhang W., Hu X. An overview of simulation-oriented model reuse. Theory, methodology, tools and applications for modeling and simulation of complex systems // Springe. – 2016. – vol. 646. – P. 48–56.
2. Ноженкова Л.Ф., Исаева О.С., Грузенко Е.А., Белорусов А.И. Компоненты унификации модели бортовой аппаратуры космического аппарата / Л.Ф. Ноженкова // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 11–2. – С. 284–288.
3. Исаева О.С., Грузенко Е.А., Вогоровский Р.В., Колдырев А.Ю. Моделирование и анализ функционирования бортовой аппаратуры командно-измерительной системы космического аппарата / О.С. Исаева // Информатизация и связь. – 2015. – № 1. – С. 58–64.
4. Лопаткин Р.Ю., Петров С.А., Игнатенко С.Н., Иващенко В.А. Перспективы применения имитационного моделирования в задачах автоматизации и управления технологическими системами / Р.Ю. Лопаткин // Вестник НТУ «ХПИ». – 2015. – № 17(1189). – С. 61–71.
5. Hawryszkiewicz I.T. A meta model for modeling collaborative systems // J. Comput. Inf. Syst. – 2016. – vol. 45(3). – P. 19–43.
6. Zeigler B.P., Zhang L. Service-oriented model engineering and simulation for system of systems engineering // Con-

cepts and Methodologies for Modeling and Simulation: Springer International Publishing, 2015. – P. 19–44.

7. Муравьева-Витковская Л.А. Моделирование интеллектуальных систем / Л.А. Муравьева-Витковская. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. – 145 с.

8. Simulation modelling platform. ECSS E-40-07 // ESA Requirements and Standards Division ESTEC. – 2011. – Vol. 1a-5a. – P. 869.

9. Simulation modelling platform. Metamodel. ECSS E-40-07 // ESA Requirements and Standards Division ESTEC. – 2011. – P. 169.

10. Sarkarati M., Merri M., Spada M. Cloud based architectures in ground systems of space missions // GSW 2013. ESA, 2013. – P. 14.

11. Cazenave C., Arrouy W. Implementing SMP2 standard within SimTG simulation infrastructure // SESP 2012: Simulation and EGSE for space programmes. ESTEC. Noordwijk, 2012. – P. 13.

12. Fritzen P., Segneri D., Pignede M. SWARMSIM – The first fully SMP2 based Simulator for ESOC // Proceedings of the 11th International Workshop on Simulation & EGSE facilities for Space Programmes. ESTEC, 2010. – P. 7.

13. Lammen W.F., Jaffry D., Moelands J.M., Wijnands Q. Connecting MATLAB to the SMP2 Standard // Harmonizing new and traditional approaches for automatic model transfer: Netherlands Aerospace Centre. ESTEC Noordwijk, 2016. – P. 20.

14. Исаева О.С., Грузенко Е.А. Эвристический метод построения модели функционирования командно-измерительной системы космического аппарата / О.С. Исаева // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН. – 2016. – № 4–2. – С. 28–37.