

Вопросы применения концепции HLA при создании стендов полунатурного моделирования

С. Е. Базаева¹

¹ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия, bazaeva@niisi.msk.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы применения концепции распределенного моделирования HLA (High Level Architecture) при создании стендов полунатурного моделирования для АСУ ТП. Дан краткий обзор истории возникновения HLA, преимуществ и недостатков данного стандарта применительно к поставленной задаче, проанализированы функциональные возможности, предоставляемые стандартом HLA. Автором дана оценка целесообразности применения концепции HLA при разработке инструментальных средств для полунатурных стендов на основе ПЛК Багет.

Ключевые слова: полунатурный стенд моделирования, стандарт HLA, распределенное моделирование

1. Введение

Стенды полунатурного моделирования как инструменты разработки автоматизированных систем управления имеют большую и богатую историю развития и применения.

Полунатурное моделирование возникло как одно из направлений имитационного моделирования, основная идея которого состоит в том, что структура модели соответствует структуре компонентов (подсистем) объекта-оригинала.

Метод имитационного моделирования пришел на смену математическому моделированию (но не заменил математическое моделирование полностью). Математическое моделирование в классическом формате требует формализации объекта-оригинала, например, в виде системы уравнений. Но если мы представим себе современный производственный химический комплекс, то окажется, что математическое моделирование реакции в отдельных емкостях не вызывает трудностей, однако охватить все производство в целом, да еще в реальном масштабе времени с помощью классической математической модели невозможно.

Имитационное моделирование, позволяющее «разбить» модель объекта-оригинала на компоненты-подсистемы, допускает различные способы имитации функционирования подсистем, вплоть до использования числовых рядов, полученных в ходе эксплуатации аналогичных систем или в результате вычислений, или иными способами. Некоторые подсистемы удавалось включить в процесс имитационного моделирования в штатном натурном виде – так возникло направление полунатурного моделирования.

С включением в состав АСУ ТП цифровых вычислительных средств метод полунатурного

моделирования получил новый толчок к развитию, поскольку коммуникация «бортовой» цифровой ЭВМ и моделирующей ЭВМ (или моделирующего цифрового комплекса в случае большого объема вычислений) уже не представляла особой проблемы. Наличие штатного вычислительного оборудования и программного обеспечения в составе стенда способствовало повышению точности и достоверности данных, получаемых в процессе моделирования. В результате деятельность разработчиков сложных систем на этапах проектирования, прототипирования и испытаний АСУ стала более эффективной и менее затратной.

В настоящее время развитие направления полунатурного моделирования привело к формированию концепции цифровых двойников, наличие которых для вновь создаваемых АСУ ТП уже обязательно и регламентировано отечественными стандартами [1, 2, 3].

Однако вместе с указанными преимуществами метод полунатурного моделирования принес и некоторые проблемы.

Недостатком большинства стендов полунатурного моделирования и систем разработки, применяемых при создании и эксплуатации этих стендов, является их уникальность. Это обусловлено тем, что помимо цифровых ЭВМ в АСУ объекта-оригинала входит много других электрических/электронных компонентов, каждый из которых обладает своим исторически сложившимся интерфейсом и комплектом программного обеспечения, и это существенно усложняет задачу «сборки» стенда, одновременно сужая область применения созданного продукта.

Еще одной проблемой при разработке стендов полунатурного моделирования, работающих

в режиме реального времени, является обеспечение синхронизации часов ЭВМ, используемых в составе стенда, на протяжении всего эксперимента по моделированию, и контроль своевременной передачи данных между программами, которые работают на стенде.

Проблемы, связанные с разнотипной аппаратурой и программным обеспечением, частично решаются по мере развития цифровых технологий: уровень совместимости компонентов АСУ ТП между собой и с оборудованием стенда на уровне оборудования возрастает за счет унификации интерфейсов и протоколов обмена данными. Одновременно увеличиваются вычислительные мощности ЭВМ, включенных в состав АСУ и моделирующего комплекса, что позволяет задействовать языки высокого уровня и программные продукты общего назначения при разработке и эксплуатации программного обеспечения – а это как минимум облегчает портирование на различные архитектуры и повторное использование наработок.

В части проблем, связанных с программным обеспечением, предлагается использовать решения, аналогичные распределенным операционным системам, которые способны контролировать циклограмму обменов данными между программами, входящими в состав системы распределенного моделирования. Одним из таких решений является концепция распределенного моделирования HLA (High Level Architecture).

2. История создания HLA

В середине 90-х годов двадцатого века при Министерстве обороны США были начаты исследования по созданию технологии, которая стала бы определяющей при построении общей архитектуры всех разрабатываемых в США систем моделирования. Для этого в 1996 году было создано специальное подразделение DMSO (Defence Modeling & Simulation Office), ведущее работы по данной тематике и отвечающее за поддержку и распространение HLA. Начиная с этого момента, всем разработчикам средств и систем моделирования было предписано следовать стандартам HLA. В 1998 году концепция HLA была предложена в качестве стандарта НАТО.

В настоящее время работы по стандарту HLA контролирует организация SISO (Simulation Interoperability Standards Organization) в координации с IEEE и OMG (Object Management Group).

Актуальная версия HLA представлена в виде стандарта IEEE 1516-2010 [4] и включает следующие документы:

– IEEE 1516-2010 – Стандарт архитектуры вы-

сокого уровня для моделирования и имитации. Структура и правила;

– IEEE 1516.1-2010 – Стандарт архитектуры высокого уровня для моделирования и имитации. Спецификации федерального интерфейса;

– IEEE 1516.2-2010 – Стандарт архитектуры высокого уровня для моделирования и имитации. Спецификация шаблона объектной модели.

Имеются также дополнительные документы, содержащие рекомендации по применению стандарта:

– IEEE 1516.3-2003 – Рекомендуемая практика разработки HLA федерации и процесс использования;

– IEEE 1516.4-2007 – Рекомендуемая практика для проверки и аккредитации федерации, как надстройка над разработкой HLA федераций и процессом использования;

– IEEE 1730-2010 – Рекомендуемая практика моделирования и процесс использования.

Поддержка стандарта IEEE 1516-2010 является обязательным требованием для работ в области имитационного моделирования и создания тренажеров, выполняемых по заказу Министерства обороны США. Данный стандарт также объявлен предпочтительным для разработок, предназначенных для эксплуатации в НАТО.

Однако объем стандарта IEEE 1516-2010 и сложность внедрения его в практику таковы, что требуется предварительный анализ и оценка целесообразности применения для решения отдельных задач.

3. Основные понятия и структура HLA

Базовые понятия стандарта HLA – это федерация, федерат, объект, атрибут и интеракция.

Объект трактуется как модель отдельного явления реального мира. Объекты не имеют методов, а имеют только состояния, которые определяются фиксированным набором атрибутов – точных значений, которые могут изменяться с течением времени. Каждый объект в любой момент времени характеризуется своим состоянием, которое определяется набором текущих значений его атрибутов.

Федерация – это объединение компонентов имитационного моделирования, называемых федератами.

В роли федератов могут выступать различные сущности:

– имитационные модели, описывающие поведение объектов программно или представленные значениями датчиков аппаратных средств;

- тренажёры, управляемые людьми;
- реальные образцы техники;
- специализированное программное обеспечение, предназначенное, например, для визуализации, сбора или обработки информации.

Федераты могут менять и получать значения атрибутов объектов. Взаимодействие федератов осуществляется посредством обмена данными.

Интеракция определяется как мгновенное сообщение (событие), не привязанное к конкретному экземпляру объекта или федерату, происходящее на уровне федерации, то есть, определить отправителя невозможно. Интеракции, в отличие от состояний объектов, не поддерживаются в системе постоянно, а имеют мгновенную природу. Примером может служить односторонняя широкоэвещательная передача текстового сообщения всем заинтересованным участникам федерации.

Технология HLA не накладывает ограничений на внутреннее представление федератов. Федераты могут быть написаны на любом языке программирования, но должны строго соответствовать предписанному интерфейсу. Технология HLA требует, чтобы федераты обеспечивали обмен информацией, используя структуры данных, поддерживаемые сервисами RTI (RunTime Infrastructure).

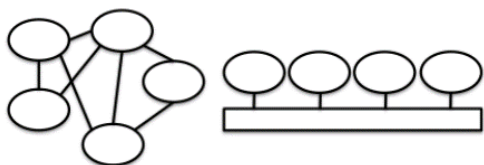


Рис. 1. Топология связей в многокомпонентной системе

Взаимодействие в многокомпонентной системе может быть организовано различными способами (рис. 1). Компоненты могут быть связаны попарно (слева на рис. 1) или с помощью общей шины (справа на рис. 1). В случае попарных связей добавление или удаление компонента системы требует модификации каналов передачи данных. При наличии общей шины манипуляции с компонентами не требуют изменения топологии существующих связей при условии соблюдения установленных правил взаимодействия через общую шину.



Рис. 2. Архитектура HLA

Архитектура HLA показана на рис. 2. Обмен

данными и исполнение федератов в едином модельном времени осуществляются с помощью программной оболочки (инфраструктуры) RTI. Инфраструктура RTI является, в сущности, распределенной операционной системой для федерации. Взаимодействие федератов с RTI происходит посредством вызова федератами сервисов RTI.

FOM (Federation Object Model) – это шаблон, с помощью которого для каждого федерата декларируются общие (доступные другим федератам) данные и условия обмена данными. HLA не предписывает, какие данные должны быть включены в FOM (это ответственность пользователя федерации и разработчика), но требует соблюдения определенного формата.

Механизм взаимодействия федератов через RTI реализован в виде подписки. Федерат, заинтересованный в получении определенных атрибутов и интеракций другого федерата, должен подписаться на них через RTI.

Сервисы RTI реализуют следующие возможности:

- управление федерацией (создание федерации и управление функционированием федерации в целом);
- управление декларациями (объявление федератами экспортируемых и импортируемых данных);
- управление объектами (работа с объектами и их атрибутами);
- управление правом доступа (передача прав между федератами на модификацию значений атрибутов объектов);
- управление распределением данных (уменьшение объема данных, пересылаемых между федератами, за счет более эффективного распределения данных);
- управление временем (различные способы синхронизации локального модельного времени федератов при исполнении федерации).

4. Применение технологии HLA при разработке инструментальных средств для создания полунатурных стендов моделирования АСУ ТП

Стандарт HLA известен достаточно давно и широко применяется в системах распределенного моделирования. Преимущества использования HLA включают:

- поддержку широкого спектра программно-аппаратных платформ;
- объектно-ориентированную структуру;
- гибкость архитектуры;

- широту функциональных возможностей;
- масштабируемость.

Всё это определяет целесообразность изучения, освоения и применения архитектурных принципов HLA.

Однако внедрение данного стандарта на практике – непростая задача.

Стандарт HLA отличается большим объемом информации. Приведенное описание структуры и функциональных возможностей, специфицируемых стандартом HLA, носит общий характер и не включает деталей, содержащихся в шести томах официального издания [4]. Безусловно, при изучении спецификаций HLA будут полезны дополнительные руководства [5]. Однако необходима еще и реализация RTI, которую можно выполнить самостоятельно (и это очень большая работа) или задействовать один из свободно распространяемых вариантов [6]. Имеются также коммерческие продукты [7]. Заметим, что вариант свободно распространяемого ПО не приемлем в случае работы с объектом критической инфраструктуры.

Таким образом, исследование вопроса возможности применения технологии HLA при разработке полунатурных стендов для АСУ ТП на основе ПЛК Багет [8] требует продолжения.

Базовым компонентом аппаратной части АСУ ТП на основе ПЛК Багет является программируемый логический контроллер (ПЛК), к которому подсоединены датчики и исполнительные механизмы объекта-оригинала. Программы,

исполняемые на ПЛК, считывают показания датчиков, возможно, выполняют некоторую обработку этих показаний, и выдают управляющие сигналы на исполнительные механизмы. Число интерфейсов одного ПЛК может исчисляться тысячами. Количество ПЛК, задействованных в составе АСУ ТП, также может достигать нескольких тысяч. Однако наряду со сложными конфигурациями могут быть использованы и малые, состоящие из десятка ПЛК с небольшим числом интерфейсов.

Широкие возможности в плане выбора аппаратной конфигурации, спецификации дисциплины обмена данными и использования ранее разработанных моделей в роли федератов, которые обеспечивает технология HLA, являются весьма заманчивой перспективой. Однако прежде, чем приступать к внедрению HLA, необходимо выработать взвешенную оценку потенциальных накладных расходов как на стадии разработки, так и на стадии эксплуатации полунатурного стенда.

5. Заключение

Применение стандарта HLA открывает широкие перспективы при разработке инструментальных средств создания полунатурных стендов моделирования. Однако большой объем требований стандарта и сложность внедрения в процесс программирования требует более детального исследования и оценки трудоемкости планируемых работ.

Issues of Application of the HLA Concept when Developing HIL Simulation Stand

Svetlana Bazaeva

Abstract. The article describes the application of the distributed simulation concept HLA (High Level Architecture) when developing HIL simulation stands for automated process control systems. A brief overview of the history of HLA, the advantages and disadvantages of this standard in relation to the task at hand is given, and the functionality provided by the HLA standard is analyzed. The author assessed the feasibility of using the HLA concept when developing tools for HIL simulation stands based on the PLC Baget.

Keywords: HIL simulation stand, HLA standard, distributed simulation

Литература

1. ГОСТ Р 57700.22–2020 «Компьютерные модели и моделирование. Классификация».
2. ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения».
3. ГОСТ 16504–81 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения».
4. 1516-2010 – IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA) –

Framework and Rules [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://standards.ieee.org/ieee/1516/3744/> (Дата обращения: 14.11.2023).

5. Björn Möller. The HLA Tutorial. A Practical Guide for Developing Distributed Simulations [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://pitchtechnologies.com/wp-content/uploads/2020/06/TheHLAtutorial.pdf> (Дата обращения: 14.11.2023).

6. CERTI Open Source HLA RTI [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://savannah.nongnu.org/projects/certi/> (Дата обращения: 14.11.2023).

7. КИМ Ритм [Электронный ресурс] // Режим доступа: krm-ritm.ru (Дата обращения: 14.11.2023)

8. С.Е. Базаева, Я.А. Зотов. Платформа для создания стенда полунатурного моделирования на основе ПЛК Багет. «Труды НИИСИ РАН», Т. 13 (2023), № 4