

ВЕРИФИКАЦИЯ АГРЕГАТИВНЫХ СИСТЕМ**В. Г. Хлопяк (Москва)**

Рассмотрим способ верификации имитационных моделей, разработанных на основе агрегативного подхода [1, 2] и представляющих собой множество взаимодействующих X-агрегатов [3].

Для упрощения изложения термины X-агрегат и объект в дальнейшем считаются синонимами.

В соответствии со сложившейся терминологией [4, 5] под *верификацией имитационной модели* понимается процесс анализа имитационной программы и проверки этой программы на соответствие концептуальной модели (агрегативной системе).

Построение модели реальной системы в виде агрегативной системы, состоящей из X-агрегатов, позволяет совместить два основных подхода к верификации программ: динамический и статический.

При динамическом подходе программа проверяется в ходе ее исполнения (в ходе имитационного эксперимента). При статической верификации выполняется проверка программы на соответствие верификационным требованиям, которые должны быть получены при верификации концептуальной модели.

Верификация программы предусматривает выполнение двух основных процессов: собственно верификацию программы (проверку выполнения всех верификационных требований) и проверку полноты верификации (требование полного покрытия операторов программы – все операторы программы должны быть проанализированы). Из этого следует, что имитационная программа в процессе верификации не может быть представлена в виде «черного ящика».

В качестве примера на рис. 1 представлена схема, поясняющая процесс верификации агрегативной системы, в части верификации модели взаимодействия.

Верификация модели взаимодействия

Модель взаимодействия отображает динамику системы, а её верификация есть проверка корректности взаимодействия объектов и функционирования модели как единого целого.

Проверка программной реализации данной модели для сложных систем, состоящих из множества объектов переменного состава, является наиболее проблемной.

Верификация модели взаимодействия может быть разбита на две подзадачи: верификация поведения объектов отдельных классов и верификация поведения системы в целом.

Верификация поведения объектов отдельных классов может быть выполнена достаточно просто – реакция объекта некоторого класса на входные сообщения должна соответствовать таблице реакций данного класса (таблице переходов и состояний), а создание выходных сообщений должно соответствовать условиям их формирования.

Функционирование модели как единого целого предполагает, что поведение объектов системы некоторым образом скоординировано (согласованно друг с другом). Например, в модели СМО переход объекта класса «Заявки» в состояние «Обслуживание» связан с переходом в тот же момент времени некоторого объекта класса «Каналы обслуживания» в состояние «Работа». Очевидно, что в любой момент времени состояния объектов системы не могут быть произвольными.

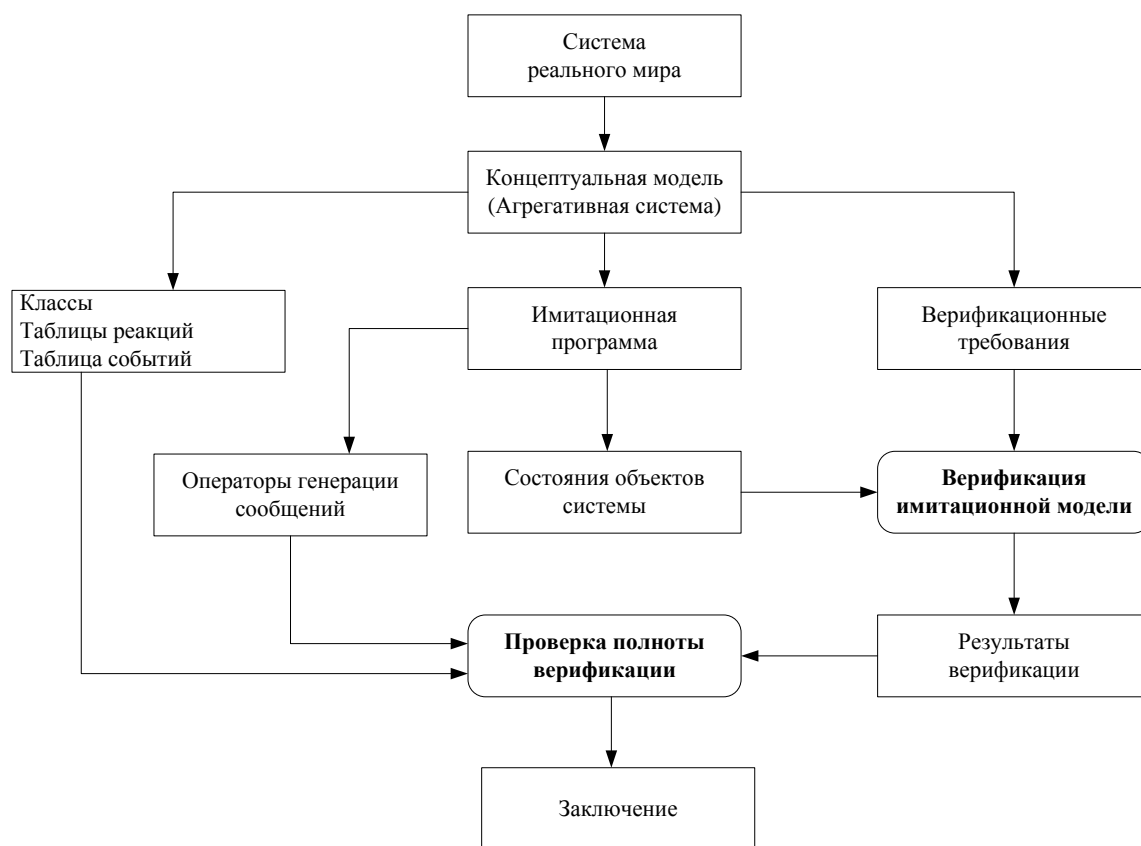


Рис. 1. Верификация модели взаимодействия сложной системы

Таким образом, верификационные требования для проверки функционирования модели как единого целого представляют собой требования, предъявляемые к состояниям системы.

Получение данных формальных требований обычно не представляет особой сложности. Например, «Количество «Заявок», находящихся в состоянии «Обслуживание», должно быть равно количеству «Каналов обслуживания» в состоянии «Работа»» или «Если хотя бы одна «Заявка» находится в состоянии «Ожидание», то все «Каналы обслуживания» заняты – в состоянии «Работа»» могут быть достаточно просто описаны на языке программирования высокого уровня.

Основная проблема для сложных систем с переменным числом объектов заключается в фиксации состояния системы в процессе исполнения программы. Для решения данной проблемы дадим формальное определение «состояние агрегативной системы».

Под *состоянием агрегативной системы* в некоторый момент времени понимается совокупность состояний объектов, существующих в системе в данный момент времени и находящихся во взаимно-согласованных состояниях.

Все множество сообщений^{*}, посредством которых объекты взаимодействуют друг с другом, разделяются на две группы: основные и оперативные [3]. Так как оперативные сообщения предназначены для координации действий объектов, будем называть данные сообщения координирующими. Следовательно, наличие в системе в некоторый момент времени координирующих сообщений означает, что процесс перехода системы из одного состояния в другое не завершен.

Формально состояние системы может быть задано следующим соотношением:

^{*} В данном случае речь идет об управляющих сообщениях [3].

$$z^s(t) = \{z_j^i(t) \mid z_j^i(t) \in Z^i \ \& \ S^k(t) = \{0\}, i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, n_i(t)\}, \quad (1)$$

где $z^s(t)$ – состояние системы в момент времени t ; $z_j^i(t)$ – состояние j -го объекта i -го класса в момент времени t ; N – количество классов в системе; $n_i(t)$ – количество объектов i -го класса, существующих в момент t ; $S^k(t)$ – множество координирующих сообщений, существующих в момент t .

Из (1) следует, что для определения момента перехода системы в новое состояние необходимо проверять наличие элементов во множестве $S^k(t)$, а для верификации поведения системы в целом – знать в этот момент времени состояние, всех объектов, существующих в системе.

Процесс исполнения имитационной программы с части верификации поведения системы в целом поясняет рис. 2.

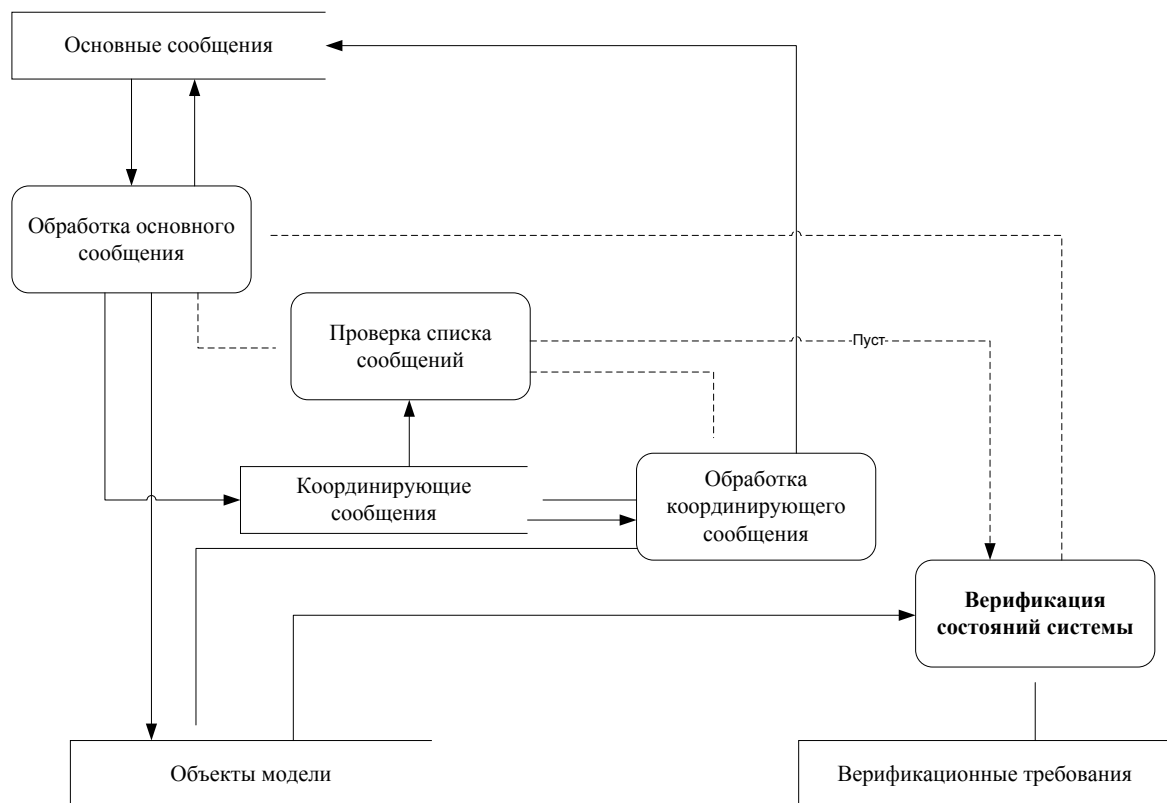


Рис. 2. Верификация модели взаимодействия в ходе исполнения программы

Переход системы из одного состояния в другое начинается с момента выбора ближайшего основного сообщения и доведения его до некоторого объекта. В результате реакции на данное сообщение объект может создать как основные, так и координирующие сообщения. Координирующие сообщения создаются лишь в том случае, если действие объекта (переход в новое состояние) должно быть согласовано с действиями других объектов.

Если созданы координирующие сообщения, то выполняется их обработка по той же схеме, что и обработка основных сообщений, за исключением продвижения системных часов (часы должны быть переведены на величину, равную 0).

В момент, когда список координирующих сообщений пуст, считается, что система перешла в новое состояние, выполняется проверка этого состояния на соответствие верификационным требованиям. При успешном завершении процесса верификации исполнение программы продолжается.

При верификации модели взаимодействия, в частности, при формировании верификационных требований, необходимо учитывать некоторые особенности функционирования X-агрегатов. Все состояния X-агрегатов разделяются на *устойчивые* и *мгновенные*.

Состояние, в котором X-агрегат (объект) может находиться некоторое время отличное от нуля, называется *устойчивым* (steady state). В этом состоянии объект может находиться любое произвольное время, как время, равное нулю, так и бесконечно долго (все время моделирования).

Состояние, в котором объект может находиться только на время выполнения действия, называется *мгновенным* (instantaneous state). Данные состояния обычно являются состояниями принятия решения. После перехода в такое состояние и выполнения действия объект получает сообщение и переходит в новое состояние. Так как в соответствии с принципами функционирования X-агрегатов переходы и действия выполняются мгновенно, то время нахождения объекта в состоянии принятия решения равно нулю. В связи с этим сообщения, принимаемые объектом, когда он находится в неустойчивом состоянии, относятся к координирующим сообщениям. Следует заметить, что наличие мгновенных состояний в модели состояний объекта не является обязательным, а обусловлено стремлением упростить описание объекта.

Выводы

Верификация имитационной программы агрегативной системы может быть выполнена на основе формальных требований в ходе исполнения программы. Тем самым существенно упрощается валидация разрабатываемых моделей.

Литература

1. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1968.
2. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. М.: Высшая школа, 1985.
3. Хлопяк В. Г. Развитие теории агрегативных систем – каноническая форма имитационной модели//Материалы конференции ИММОД-2005. СПб. ФГУП ЦНИИТС, 2005
4. Толковый словарь по вычислительной технике/Под ред. В. Иллинуорта. М.: Машиностроение, 1989.
5. Пепеляев, В. А. Чёрный Ю. М. О современных подходах к оценке достоверности имитационных моделей//Материалы конференции ИММОД-2003. СПб.: ФГУП ЦНИИТС, 2003.
6. Яцкив И. В. Проблема валидации имитационной модели и ее возможные решения//Материалы конференции ИММОД-2003. СПб.: ФГУП ЦНИИТС, 2003.