

---

## ПРОТОТИП СРЕДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРИРОВАННЫХ СОВОКУПНОСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ

**В. М. Шпаков (Санкт-Петербург)**

В СПИИРАН разработан и исследуется прототип среды имитационного моделирования структурированных совокупностей гибридных процессов. Прототип среды имеет условное название HyDySS (Hybrid Dynamic System Simulator).

Среда моделирования HyDySS предназначена для разработки моделей многоуровневых распределённых динамических систем, прежде всего современных систем управления и автоматизированных технологических комплексов. Реальные системы управления и технологические комплексы, как правило, состоят из значительного числа структурных единиц, взаимодействующих друг с другом определённым образом. Моделировать такие системы наиболее удобно с помощью многомодельных комплексов, структура которых соответствует структуре реальной системы. При этом достигается целый ряд преимуществ. Описания и представления моделей подсистем оказываются существенно проще. Модели распространённых подсистем могут храниться в отлаженном виде и неоднократно использоваться в моделях различных систем. Кроме того, в этом случае может быть введено в модели вышележащего уровня представление состояния моделей нижележащего уровня, например, включён – выключен. Это позволяет не запускать модели неработающих в данный момент подсистем. Однако реализация многомодельного подхода связана с необходимостью обеспечить связи между моделями. В реальных системах состояние элемента одной подсистемы любого уровня может влиять на состояние другого элемента также любой подсистемы, поэтому в общем случае необходимо обеспечить возможность связи “каждого с каждым”.

Что касается моделирования подсистем низшего уровня, т.е. таких, в составе которых отсутствуют другие подсистемы, то для его реализации в данной среде используется подход, аналогичный описанному в [1, 2]. Этот подход основан на представлении текущего дискретного и непрерывного состояний процессов с помощью логического и вещественного векторов состояний и формировании с помощью трансформационных правил транзитивных отношений между текущим и следующим состояниями процессов. Такое представление процессов позволяет реализовать ситуационный принцип формирования исполняемых спецификаций совокупностей взаимодействующих процессов различной динамики

Структура иерархического комплекса моделей формально представляется графом, в котором модели являются вершинами, а дуги задают отношение инцидентности, т.е. непосредственной связи между моделями. Граф этой структуры является деревом, в нём можно выделить одну вершину – корень, из которой имеются единственные пути к каждой вершине. Недостатком такой структуры является то, что при её реализации связь между моделями одного уровня может осуществляться только через модели верхнего уровня. Более удобна для представления реальных систем структура, определяющая отношение между моделями типа “часть – целое”. В этом случае модели нижнего уровня являются частью (подмоделями) связанной с ними модели верхнего уровня, которую по отношению к ним можно назвать надмоделью.

Среда моделирования HyDySS обеспечивает создание рекурсивной модели системы, то есть модели, содержащей в себе модели точно такой же структуры. Это значит, что входящие в данную модель модели (подмодели) также могут содержать в себе модели (подмодели более низкого уровня) и так далее. Каждая модель позволяет специфицировать и воспроизводить совокупность дискретно-событийных, непрерывных и

гибридных процессов, в том числе и дискретно-событийных процессов изменения состояния своих подмоделей. Среда предназначена для разработки имитационных моделей сложных многоуровневых логико-динамических систем, прежде всего современных систем управления и координации различного назначения.

Среда моделирования HyDySS ориентирована на создание произвольного количества моделей, связи между которыми соответствуют структуре произвольного дерева. Особенности интерфейса среды определяются, во-первых, необходимостью перемещаться по дереву моделей и, во-вторых, необходимостью формирования связей как между моделями одного уровня, так и между моделями разных уровней. Связи между моделями реализуются следующим образом.

Логические и вещественные состояния, входные и внешние воздействия модели могут включаться во все трансформационные правила подмоделей данной модели.

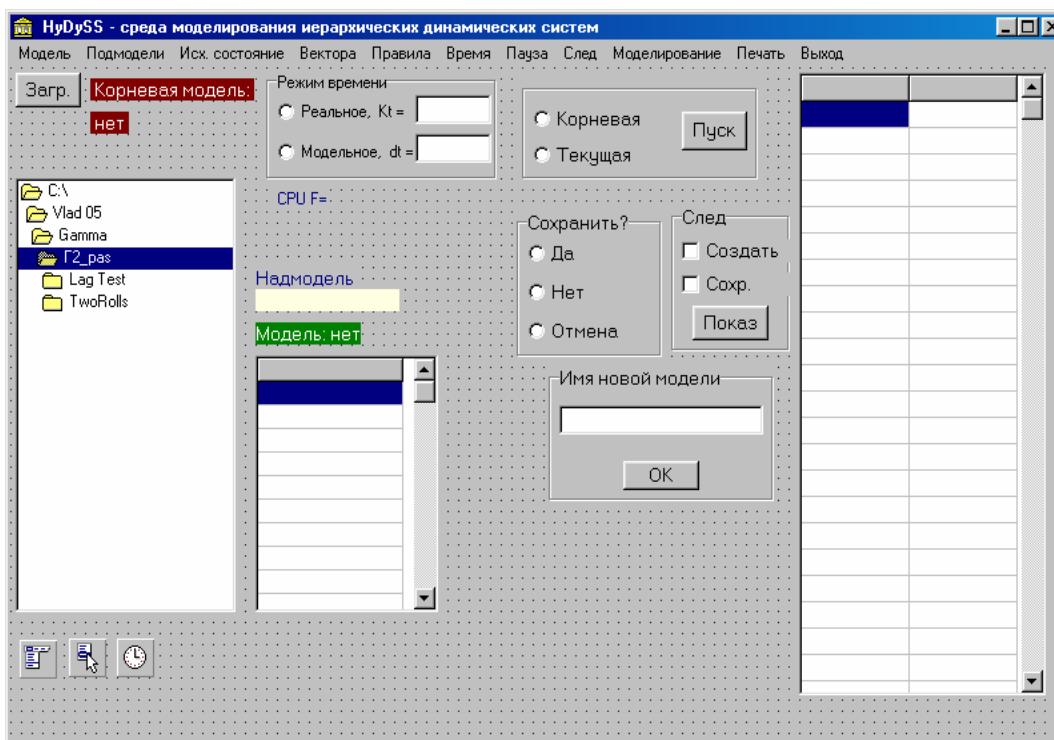
Логические и вещественные координаты выходных векторов подмоделей могут быть использованы при формировании правил модели.

Могут формироваться продукционные правила для трансформации состояний подмоделей. Подмодели могут переводиться из активного состояния в пассивное и наоборот. Это может интерпретироваться как включение и выключение отдельных устройств, а также позволяет в различных ситуациях использовать различные наборы правил, что улучшает выразительные возможности среды.

Интерфейс среды моделирования обеспечивает пользователю следующие возможности.

1. Создавать новую модель, для чего создавать новый директорию с именем модели и помещать в него совокупность файлов, необходимых для представления новой модели.
2. Помещать новую модель в любое место модельного комплекса (дерева).
3. Загружать (открывать) весь модельный комплекс или его часть.
4. Осуществлять переход между моделями комплекса.
5. Редактировать составляющие векторов состояния каждой модели.
6. Редактировать трансформационные правила каждой модели, при этом использовать при формировании их условных частей переменные состояния, как подмоделей, так и надмоделей.
7. Переключаться между модельным и реальным режимами моделирования по времени.
8. Запускать на исполнение как весь комплекс моделей, так и его часть (ветвь дерева моделей).
9. Производить текстовую и графическую визуализацию состояния элементов выбранной модели.
10. Осуществлять переход между моделями комплекса как в режиме их спецификации, так и в режиме визуализации их текущего состояния

Интерфейс среды моделирования с пользователем выполнен на основе применения управляющих конструкций, характерных для операционной системы Windows и привычных для большинства пользователей персональных компьютеров. В его состав входит набор экранных форм, содержащих ряд меню различного типа и назначения, кнопки переключения, радио кнопки и списки выбора, информирующие ярлыки и панели, редактируемые ярлыки и сетки строк. В качестве примера интерфейса среды на рисунке представлена её головная экранная форма.



Головная форма прототипа среды моделирования NuDySS

Среда обеспечивает формирование исполняемых спецификаций процессов, что позволяет разработку модели производить итерационным методом, то есть специфицировать часть процесса, запустить модель и выявить логические и динамические несоответствия процесса заданным характеристикам, перейти в режим спецификации и внести в модель необходимые изменения и дополнения, после чего вновь запустить модель. Отмеченные особенности среды позволяют достаточно быстро разрабатывать имитационные модели сложных динамических систем непосредственно специалистом без привлечения программистов. Всё это может обеспечить среде моделирования «NuDySS» широкие области применения.

Среда может эффективно использоваться для быстрого прототипирования различных динамических систем и, в том числе, многоуровневых распределённых систем управления. Она позволяет проводить детальную разработку иерархически структурированных совокупностей процессов в части их логических и динамических характеристик и может служить инструментальным средством концептуального проектирования динамических средств; позволяет проверять технические решения, предлагаемые для обеспечения параметров динамических систем, а также использоваться при обучении для приобретения практических знаний в области динамики и логики управления.

Кроме того, отлаженная компьютерная модель динамической системы может иметь достаточно многообразное применение. Наличие такой модели, например, позволяет обеспечить однозначную формулировку требований к системе, что облегчает их согласование между разработчиком и заказчиком.

Модель может использоваться в процессе изготовления и в ходе эксплуатации системы для поддержки принятия решений по внесению в неё изменений и дополнений. Модель управляющей части системы (контроллера), отлаженная совместно с моделью объекта управления, может служить основой для разработки проблемно-

ориентированного вычислительного устройства или программного обеспечения используемого в системе компьютера. В случае если в реальной системе и в среде моделирования используются одинаковые вычислительные платформы, то разработанная модель может непосредственно использоваться в системе в качестве математического программного обеспечения.

Имитационная модель объекта управления может встраиваться в системы управления с эталонной моделью.

Имитационная модель динамической системы можно непосредственно использовать для обучения и тренировки обслуживающего персонала, включая ее в состав обучающих и тренажёрных комплексов.

В ходе моделирования отрабатывается логика и динамика работы системы в различных режимах и при различных входных и возмущающих воздействиях, оценивается безопасность работы, невозможность попадания в опасные ситуации и достижимость необходимых ситуаций. Для непрерывных элементов определяется качество переходных процессов.

Выразительная способность комплекса моделей выше, чем одной сложной модели, так как для человека более естественным является процесс спецификации относительно простых и функционально более однородных устройств с последующим объединением их в комплексы.

При разбиении сложной модели на подмодели по функциональному признаку упрощается интерпретация результатов моделирования.

Благодаря возможности включения и выключения отдельных подмоделей в процессе моделирования повышается его гибкость и расширяются возможности модельного эксперимента.

Экспериментальное исследование прототипа среды моделирования проводилось с целью оценки её эффективности и выразительных возможностей используемого подхода к спецификации процессов. Исследование проводилось путём разработки моделей ряда тестовых систем. Таких, в частности, как модель системы стабилизации перевёрнутого маятника, модель системы позиционирования ролика на плоскости. Что касается быстродействия исполняющей процедуры, то эффективность современных ПК делает возможным использование среды для моделирования большинства бизнес процессов в реальном времени. Выразительные возможности среды и использованного подхода в настоящее время исследуются. Рассматриваются различные структуры трансформационных правил. Исследуется, в частности, возможность совместного использования в правилах, как спецификаций ситуаций, так и спецификаций событий, связанных с их возникновением и исчезновением.

### Литература

1. **Шпаков В.М.** Исполняемые спецификации транзитивных моделей технологических процессов//Мехатроника, автоматизация, управление. –2004. –№ 3.
2. **Шпаков В.М.** Транзитивная модель процессов и её использование для имитационного моделирования динамических систем//Настоящий сборник докладов конференции ИММОД-2005.