

СИСТЕМА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMULAB**Е. С. Ершов, Е. Б. Юдин (Омск)**

В настоящее время существует большое количество различных систем имитационного моделирования (как узкоспециализированных, так и многоцелевых), каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. Имея достаточный опыт в разработке как имитационных моделей, так и библиотек для Anylogic 6, и проанализировав преимущества и недостатки существующим систем имитационного моделирования (СИМ), коллектив Лаборатории имитационного моделирования imlab принял решение о необходимости создания собственной СИМ.

Разработанная СИМ simuLab – это инструмент имитационного моделирования, основанный на результатах, полученных в Лаборатории имитационного моделирования imlab за последние 2 года. За это время были разработаны, реализованы и протестированы методы и алгоритмы, направленные в основном на сокращение временных затрат при проведении имитационных экспериментов.

Среди особенностей simuLab можно выделить следующие:

- пользователю, работающему на удаленном компьютере, предоставляется возможность запускать из сети как среду simuLab, так и созданные в ней модели, без необходимости устанавливать у себя какое-либо программное обеспечение;
- архитектура системы simuLab позволяет подключать ее библиотеки к любой СИМ, обладающей открытым программным интерфейсом;
- высокопроизводительный дискретно-событийный «движок» (simulation engine) runFaster позволяет сократить затраты времени на проведение имитационных и оптимизационных экспериментов в 4–5 раз;
- поддержка многоядерных процессоров и многопроцессорных систем при проведении реплицированных имитационных экспериментов;
- система simuLab обладает богатым инструментарием iFace для создания на ее основе комплексных систем поддержки принятия решений (СППР);
- 3D визуализатор thirD автоматизирует создание реалистичной 3D анимации на основе уже готовой 2D анимации модели;
- система simuLab обладает расширенным набором структур для моделирования больших сетей.

Далее следует более подробное (насколько это позволяет объем статьи) описание СИМ simuLab и ее ключевых особенностей.

Среда моделирования simuLab

Как уже было сказано выше, simuLab представляет собой набор библиотек, подключать которые можно к любой СИМ, обладающей открытым программным интерфейсом (например, к Anylogic 6 или Repast), однако у simuLab есть и собственная среда разработки и моделирования.

Практически все современные СИМ предоставляют пользователю интерфейс для быстрого создания моделей с помощью блок-схем, описывающих логику поведения модели и позволяющих моделировать любые объекты реального мира. Графическое представление систем с помощью блок-схем широко используется во многих важных сферах деятельности: производстве, логистике, системах обслуживания, бизнес-процессах, моделировании компьютерных и телекоммуникационных сетей и т.д. Среда моделирования simuLab не является исключением и активно использует данный подход к построению моделей (рис. 1).

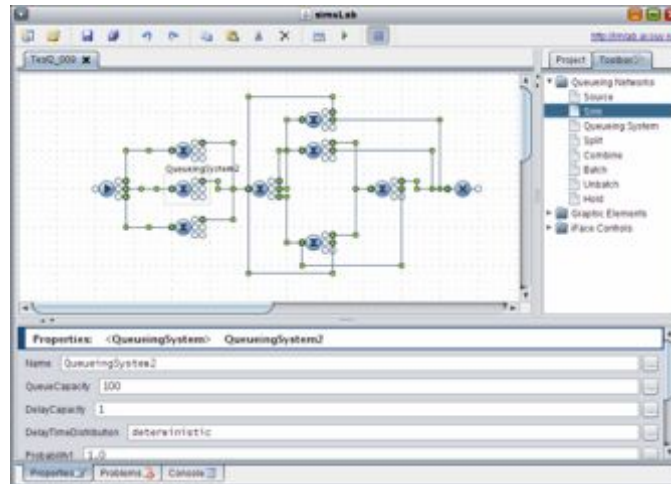


Рис. 1. Окно среды моделирования simuLab

Как сама среда моделирования, так и все ее библиотеки реализованы на языке Java, что позволяет пользователю работать с simuLab в любой операционной системе и на различных по архитектуре процессорах, для которых существует Java Runtime Environment (JRE). Более того, пользователю, работающему на удаленном компьютере, предоставляется возможность запускать из сети (Ethernet/Internet) как саму среду simuLab, так и созданные в ней модели без необходимости устанавливать у себя какое-либо программное обеспечение (кроме JRE), при этом процесс моделирования может происходить как на компьютере пользователя, так и на сервере.

В качестве внутреннего языка также используется язык программирования Java, таким образом, пользователю нет необходимости изучать какой-либо специализированный язык моделирования, который часто во многом ограничивает его возможности. Такой подход позволяет работать с имитационной моделью на уровне языка объектно-ориентированного программирования и пользоваться всей мощностью языка Java, кроме того, появляется возможность компилировать модель в исполняемый файл, не требующий для запуска среды моделирования.

Для более тесного взаимодействия среды моделирования simuLab с Anylogic 6 реализована поддержка импорта/экспорта моделей Anylogic 6.

Инструментарий для создания сложных интерфейсов iFace

Редактор форм iFace, входящий в состав simuLab, поддерживает большой набор интерактивных элементов (меток, кнопок, ползунков, полей ввода, флажков, переключателей и т.д.) и позволяет создавать интерфейсы любой степени сложности, а также связывать их с имитационной моделью.

Созданные интерфейсы могут использоваться с целью:

- создания управляющих оболочек с возможностью всестороннего контроля процесса моделирования;
- формирования сложных отчетов, содержащих статистические данные о результатах работы имитационной модели;
- создания сложных оптимизирующих подсистем;
- создания комплексных систем поддержки принятия решений на основе имитационных моделей.

Также поддерживаются средства анализа данных и большой набор элементов бизнес-графики, спроектированных для эффективной обработки и презентации результатов моделирования: статистики, наборы данных, графики, диаграммы, гистограммы.

Высокопроизводительный дискретно-событийный «движок» runFaster

Модели в simuLab могут выполняться в двух режимах: «реального модельного времени» и «виртуального модельного времени».

Высокопроизводительный дискретно-событийный «движок» (simulation engine) runFaster прежде всего предназначен для ускорения процессов моделирования и оптимизации дискретно-событийных имитационных моделей в режиме «виртуального модельного времени».

Оптимизация кода «движка» и использование специальных структур хранения данных позволили значительно сократить временные затраты на проведение имитационных экспериментов. В общем случае (на процессорах класса Pentium 4) использование runFaster позволяет сократить время, необходимое для проведения одного имитационного эксперимента, в 4–5 раз (по сравнению с наиболее распространенными многоцелевыми СИМ). При проведении реплицированных имитационных экспериментов на многоядерных процессорах runFaster использует все доступные ядра, что также позволяет сократить временные затраты в 2–3 раза. По окончании имитационного эксперимента автоматически формируется краткий отчет о его результатах (рис. 2).

Queueing sy...	Distribution	Delay time	Capacity	Utilization	Queue length...	Time in queue...	In
source1	Exponential	1.0	0	NaN	0.0	M:NaN, σ:NaN	0
qs1	Uniform (0, 2]	3.3333333	1	0.6675843	0.9033927	M:4.502118; σ...	220356
qs2	Uniform (0, 2]	3.3333333	2	0.4983204	0.23203614	M:0.76899815; ...	329635
qs3	Uniform (0, 2]	1.25	1	0.626014	0.6964994	M:1.3923415; σ...	550507
qs4	Exponential	0.5555556	1	0.7589911	2.0213456	M:1.5295509; σ...	1503024
qs5	Exponential	0.13793103	1	0.81455225	3.326001	M:0.57033837; ...	6495443
qs6	Erlang (k=2)	1.25	1	0.5115001	0.41323012	M:1.0023637; σ...	450185
qs7	Erlang (k=2)	1.25	1	0.68344414	1.2063743	M:2.160472; σ...	601543
qs8	Erlang (k=2)	0.18181819	3	0.32203352	0.03163654	M:0.00590777; ...	5846248
qs9	Uniform (0, 2]	0.44444445	1	0.44444334	0.23005696	M:0.23327594; ...	1100485
sink1	< N/A >	0.0	0	NaN	NaN	M:0.0; σ:0.0	1100484

■ Simulation completed 100% Elapsed virtual time: 1100000.1 Elapsed real time: 10.449 sec

Рис. 2. Отчет о результатах моделирования

Для формирования более сложных отчетов пользователь может воспользоваться редактором форм iFace (см. предыдущий раздел).

В составе Anylogic 6 runFaster может использоваться в качестве альтернативы AnyLogic Simulation engine при проведении имитационных экспериментов (в том числе и оптимизационных) с дискретно-событийными моделями (тестовые примеры можно загрузить по адресу <http://imlab.acouy.ru/default.aspx?page=runfaster>).

В режиме «реального модельного времени» runFaster позволяет автоматически создавать простую анимацию модели (например, анимацию движения транзактов), во всем остальном его работа мало отличается от «движков» существующих СИМ.

3D визуализатор имитационных моделей thirD

Современные СИМ в большинстве случаев обладают возможностью создания анимации имитационных моделей [1]. Можно даже сказать, что в них 2D анимация создается автоматически уже при составлении структуры модели, но для ее улучшения или «перевода» в 3D анимацию в большинстве случаев требуются значительные усилия со стороны программиста.

Основной принцип технологии анимации, используемый в большинстве СИМ, заключается в том, что с блоками имитационной модели могут быть связаны некоторые фигуры (как простые 2D примитивы, так и их группы), у каждой из которых есть набор свойств, определяющих ее внешний вид: местоположение, размер, цвет и т.д. Изменение параметров фигуры в ходе имитационного эксперимента и позволяет создавать анимацию модели. Создание 3D анимации имитационной модели практически ничем не отличается от создания 2D анимации. Более того, используя 3D визуализатор third, со-

здать реалистичную 3D анимацию можно на основе уже готовой 2D анимации, не прикладывая при этом практически никаких усилий.

В общем случае сразу после подключения визуализатора thirD все 2D фигуры автоматически представляются в виде наиболее подходящих по конфигурации 3D примитивов. В ходе имитационного эксперимента визуализатор отслеживает изменение параметров 2D примитивов и переносит эти изменения на соответствующие им 3D примитивы. Если указать визуализатору, какие моделируемые примитивы необходимо заменить более сложными 3D объектами и назначить им соответствующее звуковое сопровождение, как 3D модель преобразится, и пользователь увидит перед собой «реально» функционирующий объект (рис. 3).



Рис. 3. Примеры 3D визуализации моделей

В общем случае степень «реальности» виртуальной 3D модели, созданной при помощи thirD, определяется степенью детализации используемых 3D объектов, наличием соответствующего звукового окружения, специальных эффектов и т.п. (по адресу <http://imlab.acouy.ru/default.aspx?page=third> можно загрузить видео с демонстрацией работы библиотеки, работающей совместно с Anylogic 6).

Так как процессы имитационного моделирования и 3D визуализации являются достаточно ресурсоемкими, пользователю предоставляется возможность создания 3D анимации не только во время имитационного эксперимента (на одном компьютере или нескольких компьютерах, объединенных в сеть), но и при пост-обработке – что значительно снижает нагрузку на компьютер.

Структуры для моделирования больших сетей

В simuLab внедрены оригинальные результаты, позволяющие эффективно работать с гораздо более разнообразными структурами, чем в таких СИМ, как Repast и Anylogic. Так, в simuLab реализован ускоренный генератор случайного графа Барабаша-Альберта (БА-граф), часто используемого для моделирования таких сетей, как Интернет, сеть телефонных переговоров, сеть ссылок web-страниц и т.д.

БА-граф несложно построить, основываясь на принципах «предпочтительного связывания». Нужно начать с небольшой «затравки» (некоторого подграфа), после чего граф растет таким образом, что новые узлы «предпочитают» присоединяться к узлам с высокой связностью, т.е. если вероятность p_i присоединения к i -му узлу пропорциональна его связности k_i :

$$p_i = k_i / \sum_j k_j. \quad (1)$$

В системе simuLab используется генератор случайного графа, работающий в десятки раз быстрее алгоритма, реализованного в популярной среде для работы с графами JUNG и среде моделирования AnyLogic (рис. 4). Такого результата удалось достичь за счёт ряда впервые полученных теоретически характеристик графа.

Конечно, не для всех реальных сетей степенной закон распределения связности вершин является наиболее подходящим. В simuLab реализован алгоритм генерации на основе произвольной функции «предпочтения», отличной от линейной, представленной уравнением (1). Как показывает анализ многих реальных сетей, логарифмическая функция предпочтения

$$P(k_i) = \frac{\log_a k_i}{\sum_j \log_a k_j}$$

может быть более адекватной ряду реальных сетей.

К оригинальным расширениям структур относятся также следующие:

- поддержка работы с графами, полученными на основе эволюции клеточных автоматов (в настоящем сборнике с помощью simuLab проводятся исследования на данного рода графе);
- графы, построенные на основе выращивания посредством декомпозиции вершин (и/или рёбер) заменами на графы-подстановки [2];
- внедрена поддержка для ускоренного моделирования решёток ГПУ, изначально разработанная для моделирования наночастиц соответствующей структуры [3].

Заключение

Использование СИМ simuLab или ее отдельных библиотек позволит:

- значительно сократить время на разработку имитационных моделей, решающих задачи в области производства, логистики и цепочек поставок, в сфере обслуживания, пешеходных и транспортных потоков, информационно-телекоммуникационных сетей, социальных и экологических процессов и систем и т.п., а также моделей, соответствующих концепции «Virtual Factory»;
- сократить затраты времени на проведение имитационных и оптимизационных экспериментов в 4–5 раз;
- полностью использовать ресурсы многоядерных процессоров при проведении реплицированных имитационных экспериментов;
- оптимизировать сложные имитационные модели;
- значительно упростить разработку СППР на основе ИМ;
- создавать реалистичные виртуальные тренажеры любой степени сложности.

Литература

1. **Ершов Е. С.** Библиотека 3D-визуализации имитационных моделей для Anylogic 6 // Россия молодая: передовые технологии – в промышленность: матер. II Всерос. молодежн. науч.-техн. конф. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2009. Кн. 2. С. 23–27.
2. **Задорожный В. Н., Юдин Е. Б., Ершов Е. С.** Р-ориентированное измерение эффективности алгоритмов редукции // ИТиАУ: матер. межвузовской научно-практической конференции/ Омск: Изд-во ОмГТУ, 2009. С. 177–179.

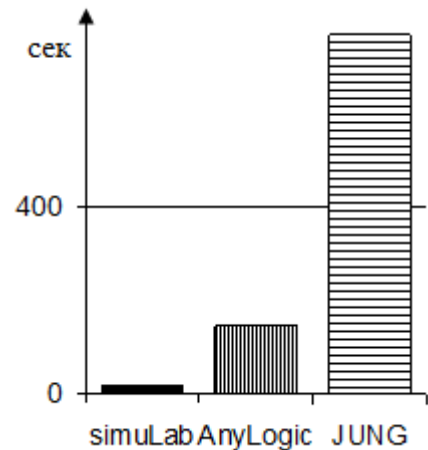


Рис. 4. Время генерации БА-графа из 50000 вершин

3. **Задорожный В. Н., Юдин Е. Б.** Мультиагентное моделирование микромира // Там же. С. 186–188.