
ПРИМЕНЕНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Ю. И. Толуев (Магдебург, Германия)

Введение

Термин «логистический процесс» применён в названии работы вместо термина «логистическая система» с целью подчеркнуть тот факт, что логистические процессы (процессы транспортировки, складирования и перевалки грузов и товаров) встречаются не только на предприятиях, которые традиционно называют логистическими (торговые и транспортные предприятия, складские объекты), но также и на производстве, в строительстве, в больничных комплексах, в больших общественных зданиях, а также в других системах, где наблюдается движение большого количества материальных объектов. Именно моделирование процессов физического перемещения во времени и пространстве различного рода материальных объектов относится к «классическому» моделированию процессов с дискретными событиями (*discrete event simulation*) [Law00]. Сами же модели данного типа называют часто моделями материальных потоков (*material flow models*). В мире моделей, традиционно создаваемых для производственных и логистических систем, данный класс моделей относится к среднему уровню абстракции отображения процессов, в то время как к верхнему уровню относится моделирование бизнес-процессов, а на нижнем уровне располагаются графические (геометрические и кинематические) модели, как технических средств выполнения отдельных технологических операций, так и самих объектов, над которыми эти операции выполняются.

В странах Западной Европы, как и в других промышленно развитых странах, ежегодно выполняются сотни имитационных исследований (*simulation studies*), в рамках которых разрабатываются и применяются имитационные модели систем обработки материальных потоков на производстве и в логистике. Приблизительно с постоянной интенсивностью данный процесс продолжается уже более десяти лет, так что у специалистов было достаточно времени для выявления многих сильных и слабых сторон современной теории и практики имитационного моделирования по отношению к данному классу систем. Целью данной работы является изложение как индивидуального опыта построения концептуальных моделей логистических систем, так и сложившихся на сегодняшний день коллективных представлений о судьбе некоторых хорошо известных научных и инженерных идей, которые были проверены при выполнении моделирования реальных логистических процессов [Spi05].

Логистические процессы и системы как объекты имитационного моделирования

С помощью моделирования могут изучаться процессы как внутренней, так и внешней логистики предприятия. К внутренней логистике относится перемещение объектов внутри всей территории предприятия или в отдельных его подразделениях. Для решения задач внутренней логистики традиционно создаются следующие виды моделей:

- модели систем транспортировки грузов по территории предприятия с помощью мобильных средств (погрузчиков, трейлеров и т.п.);
- модели стационарных напольных и подвесных систем транспортировки грузов (кранов и конвейеров различной конструкции);
- модели процессов на складах: приём грузов, перемещение грузов в зоны хранения и обратно, отбор, комплектация, упаковка и отправка грузов;

– модели производственных линий и сборочных конвейеров.

К внешней логистике относится перевозка грузов и товаров между различными географическими пунктами с применением обычных средств транспорта: автомобильного, железнодорожного, речного, морского и воздушного. Чаще всего модели процессов внутренней и внешней логистики создаются и исследуются отдельно друг от друга, но в некоторых случаях создаются и комплексные модели. Например, на предприятии оптовой торговли (в центре распределения товаров) к внешней логистике относится поставка товаров на склады предприятия, перевозка товаров между складами самого предприятия, а также со складов предприятия к клиентам. Процессы обработки товаров на складах предприятия должны рассматриваться как процессы внутренней логистики.

Наиболее сложными, но при этом и наиболее значимыми для практики являются на сегодняшний день модели двух типов логистических систем с сетевой структурой: а) сетей (цепей) поставок и б) сетей распределения и продажи продукции. Первый тип сетей применяется для реализации процессов в области материально-технического снабжения производства, особенно, сложного многоступенчатого распределённого производства. Второй тип сетей применяется как в системах реализации продукции крупных предприятий-производителей, так и в торговых системах.

Построение концептуальной сетевой модели логистической системы

В любом исследовании, связанном с применением имитационного моделирования, можно выделить три этапа:

1. разработка концептуальной модели;
2. реализация модели с использованием пакета имитационного моделирования (симулятора);
3. планирование и проведение экспериментов с работающей моделью.

На рис. 1 показана многократно проверенная на практике методика создания формального описания задачи моделирования и построения концептуальной модели, которая может служить исходным пунктом для реализации модели с использованием любого из коммерческих симуляторов для процессов с дискретными событиями. Учитывается тот факт, что в большинстве таких симуляторов готовая модель представляется как сетевая структура, узлы которой являются представителями (объектами) соответствующих библиотечных компонентов (классов). Если разработчик модели знаком с конкретным симулятором, для него не составит большого труда выбрать в библиотеке симулятора компоненты, наилучшим образом соответствующие компонентам концептуальной сетевой модели. Но именно построение концептуальной сетевой модели является наиболее сложным этапом исследования, связанного с применением имитационного моделирования при анализе логистических систем.

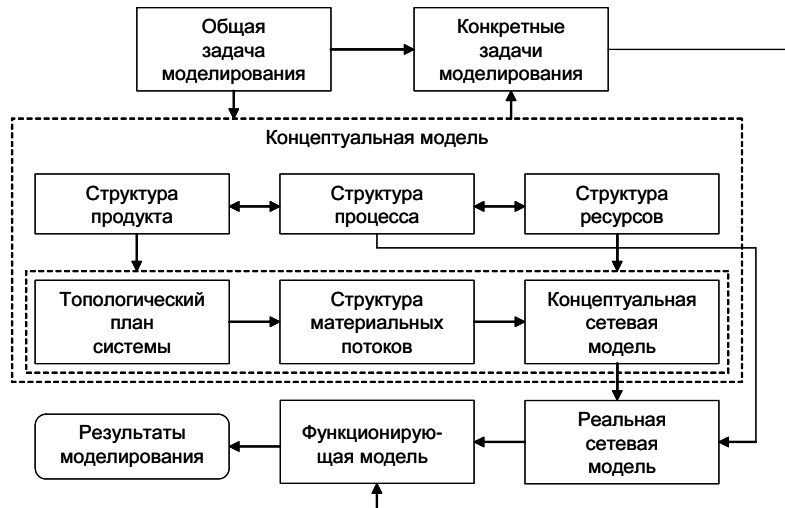


Рис. 1. Методика создания и применения концептуальной модели логистической системы

Концептуальная сетевая модель логистической системы, как правило, радикально отличается от сети массового обслуживания, в которой обычно задаётся одна «плоская» структура и один тип динамических объектов (заявка). Разработка концептуальной сетевой модели начинается с определения трёх типов иерархических (древовидных) структур: а) для продуктов, т. е. всех обрабатываемых типов грузов (товаров и тары); б) для ресурсов, т. е. всех стационарных и мобильных технических средств выполнения операций транспортировки, складирования и перевалки грузов; в) для процесса, т. е. всех возможных или типовых последовательностей выполнения операций с различными типами груза.

Ограниченность СМО как концептуальных моделей логистических процессов

Философия СМО (систем и сетей массового обслуживания) основывается на предположении о том, что ресурсы системы образуют некую статическую структуру, через которую пропускаются обрабатываемые динамические объекты (заявки). Особенностью логистических систем является то, что многие виды ресурсов являются в них мобильными объектами. В пределах одной модели в некоторых ситуациях эти объекты должны рассматриваться как «обслуживающие приборы», а в других – как «заявки на обслуживание». При взгляде на логистическую систему как на СМО исследователя интересуют, как правило, не процессы ожидания заявок (транспортных средств) в очередях, а процессы передвижения и накопления грузов и товаров. Однако, традиционные СМО вообще не оперируют с такими характерными для задач анализа материальных потоков понятиями, как «процесс транспортировки», «объём поставки», «уровень запаса» и т. п.

В то время как при моделировании традиционных СМО ориентируются на массовое применение теоретических (реже – эмпирических) законов распределения, характерным свойством моделей логистических процессов является ограниченное использование случайных факторов. Абсолютное большинство событий во входных потоках и длительности операций могут быть заданы как константы или могут вычисляться по детерминированным формулам. Чем выше степень автоматизации производственных и транспортных процессов в реальной системе, тем меньше места остаётся в модели для имитации случайных воздействий. Часто заказчик формулирует чёткие сценарии и расписания внешних событий как для нормальных режимов работы, так и для аварийных.

Его логика при этом является строго детерминированной: «покажи мне результат, если система будет работать вот при таких-то условиях». Такого заказчика приходится даже иногда уговаривать «размыть» его плановые данные путём моделирования хотя бы небольших флуктуаций.

С большинством моделей логистических систем приходится работать по схеме, основанной на предположении о принципиальной нестационарности процессов. Это объясняется уже тем фактом, что в этих моделях, как правило, применяется не абстрактное модельное время, а время, прямо соответствующее времени суток. В моделях процессов внутренней логистики адекватно отображается всё то, что в реальной системе происходит ночью, утром, в обеденное время и т. д. Обычным элементом модели являются графики рабочих смен для всех подразделений моделируемой системы. При этом учитываются дни недели, выходные и праздничные дни. Иногда формулируются специальные сценарии моделирования для проверки того, каким образом система войдёт в нормальный режим работы, если, например, в течение короткого времени произойдёт много поставок, которые ранее были задержаны. Характерным при моделировании процессов внешней логистики является учёт сезонных изменений в графиках получения и отправки товаров.

Вследствие неслучайности и нестационарности многих логистических процессов рассчитываемые симулятором стандартные статистические результаты часто вообще оказываются или бесполезными, или недостаточными для анализа работы моделируемой системы. Обычной является практика, при которой аналитик сам конструирует требуемые показатели, обеспечивает сбор первичных данных для их расчёта и реализует процедуру расчёта в ходе выполнения прогона модели или по его завершении. Достаточно часто возникают ситуации, когда ни аналитик, ни заказчик не интересуются «вычисленными» количественными показателями моделируемого процесса, а наблюдают графики развития во времени некоторых первичных показателей или переменных модели (например, уровня запасов на складе). Иногда процесс оценивается чисто качественно только лишь на основании наблюдения анимационной картины.

Сложность и многообразие процессов в реальных системах приводит к созданию имитационных моделей, которые сохраняют сходство со СМО только на уровне структуры, в то время как на уровне процессов перемещения динамических объектов и процессов управления эти модели существенно отличаются от тех, что могут быть представлены только с помощью категорий, свойственных СМО.

Оценка некоторых научных и технических аспектов практики создания и использования моделей логистических процессов

Выбор симулятора. Список применяемых сегодня коммерческих симуляторов для процессов с дискретными событиями имеет вид: Arena, AutoMod, eM-Plant (SIMPLE++), Enterprise Dynamics, Extend, ProModel, QUEST, SIMFACTORY и WITNESS. Все эти симуляторы (кроме Enterprise Dynamics) присутствуют на рынке уже более десяти лет, и все они могут с успехом применяться при моделировании логистических процессов. По-настоящему новым является только «дискретно-непрерывный и агентно-ориентированный» симулятор AnyLogic. Тип симулятора может представлять интерес только для организации, планирующей начать работы в области имитационного моделирования. Организации-заказчики, уже имеющие в своём распоряжении лицензии на какие-то из отмеченных выше симуляторов, практически никогда не переходят на другой продукт по причине наличия у них отдельных преимуществ. Очередной обзор симуляторов можно найти в [Swa03].

Автоматическое генерирование моделей. Обычно под этим понимается возможность прямой интерпретации данных о производственной или логистической системе,

предоставляемых системой автоматизированного проектирования (CAD). Результатом такой интерпретации является сетевая модель системы (*layout*), автоматически созданная на базе библиотечных компонентов соответствующего симулятора. В качестве нейтрального формата для хранения описания модели системы обработки материальных потоков используется формат SDX (*simulation data exchange*). Некоторые симуляторы (например, AutoMod и eM-Plant) уже сейчас способны интерпретировать данные, записанные в этом формате. Скептическое отношение специалистов к такой форме автоматизации моделирования объясняется двумя факторами: а) весь процесс интерпретации данных о структуре системы должен быть проверен аналитиком, так как возможны ситуации, в которых однозначная интерпретация данных от системы CAD не представляется возможной; б) описание структуры системы (набора компонентов, их параметров и связей между ними) обычно составляет лишь небольшую долю от её полного описания, в то время как основная доля приходится на описание алгоритмов управления ресурсами и потоками, которые не фиксируются в системе CAD. Кроме того, задачи моделирования процессов внешней логистики вообще не требуют применения графического плана объекта моделирования в виде чертежа, выполненного средствами CAD.

Режим эмуляции для отладки управляющих программ. Такой вид режима *online* давно известен в практике имитационного моделирования. Интерес к такому варианту использования моделей в области внутренней логистики в настоящее время возрастает, так как разработчики управляющего программного обеспечения (например, для управления процессами на автоматизированных складах) неоднократно имели возможность убедиться в том, что эффективные модели могут способствовать быстрой отладке программного обеспечения и обеспечить его высокую эксплуатационную надёжность.

Управление цепями поставок (SCM). Интерес представляет особый случай «полунатурного моделирования», которое выполняется на базе программного обеспечения, специально предназначенного для управления процессами в сетях поставок. В этом случае с помощью модели «разыгрываются» варианты развития внешних условий функционирования системы, в то время как для реализации (анализа, сравнения и т. д.) стратегий управления применяются стандартные модули соответствующего программного пакета. Средства для проведения имитационных экспериментов имеются в составе таких коммерческих продуктов, как J.T. Edward, e-SCOR, Value Chain Management, Picaso, Extend/SDI, Insight, Simflex, Supply Chain Guru, CAPS Supply Chain Designer, i2 Strategist, Manugistics SC Suite, Logic Net, Synquest и др. Часто для поддержки таких экспериментов прилагаются также средства оптимизации, основанные на эвристических и генетических алгоритмах.

Оптимизация процессов на базе имитационных моделей. Поисковая программа Google показывает в Интернете несколько десятков тысяч ссылок на материалы по данной теме. Основная идея поисковой оптимизации на базе модели изложена в учебнике [Law00]. Там же есть ссылки на программные продукты, предназначенные для работы в соединении с имитационными моделями. Потенциальный успех такого рода оптимизации зависит от трёх факторов: а) эффективности (быстродействия) алгоритма оптимизации, б) размерности задачи оптимизации и в) быстродействия симулятора. В области повышения быстродействия алгоритмов оптимизации в последние годы математиками были получены очень хорошие результаты, но низкое быстродействие симуляторов остаётся основным препятствием, из-за которого решение практических задач оптимизации моделей логистических систем уже при размерности в несколько десятков переменных в автоматическом режиме часто не представляется возможным. В каждом отдельном случае успех процедуры оптимизации определяется только искусством аналитика, который способен сформулировать собственные эвристические правила на основании знаний семантики оптимизируемой модели.

Распределённое моделирование. Данная область работы с моделями логистических процессов является на сегодняшний день ещё менее «практической», чем автоматическая оптимизация моделей. Хотя принципы и средства HLA (*High Level Architecture*) доступны гражданским специалистам уже начиная с 1996 года, известно лишь об экспериментальных работах в области применения протоколов HLA для распределённого моделирования производственных и логистических систем. Потенциальные заказчики на выполнение такого моделирования ещё не чувствуют потребности в его практическом применении, а разработчики симуляторов ещё не снабдили ни один из своих коммерческих продуктов интерфейсными модулями для обеспечения взаимодействия моделей на базе протоколов HLA.

Выводы

Моделирование логистических процессов является на сегодняшний день одной из основных областей применения имитационного моделирования процессов с дискретными событиями. Расстояние между базовыми знаниями в области моделирования [Law00] и применяемыми на практике методами и средствами [Spi05] является столь значительным, что создавать эффективные модели становится под силу только высококвалифицированным специалистам, профессионально работающим в этой области. Вследствие понимания этого факта в Западной Европе наблюдается тенденция перехода от проведения «дилетантских» работ по моделированию силами самих предприятий к концентрации таких работ в признанных центрах профессионального моделирования. Ниже приведены адреса в Интернете некоторых таких центров в странах, в которых доминирующим является немецкий язык:

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (IML):

<http://www.iml.fraunhofer.de/178.html>

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA):

<http://www.ipa.fraunhofer.de/Arbeitsgebiete/engineering-it/sim/>

SimPlan AG: <http://www.simplan.de/>

SimulationsDienstleistungsZentrum GmbH: <http://www.sdz.de/>

AAA Logistik & Simulation: <http://www.logistiksimulation.ch/index.htm>

ARC Seibersdorf research GmbH: <http://www.arcs.ac.at/>

Литература

- [Law00] **Law, A.M., Kelton, W.D.** Simulation Modelling and Analysis, Third Edition, McGraw-Hill, 2000 (перевод: Лоу А.М, Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004).
- [Spi05] **Spieckermann, S.** Diskrete, ereignisorientierte Simulation in Produktion und Logistik – Herausforderungen und Trends. Simulation und Visualisierung 2005. SCS Publishing House e.V., Erlangen. –С. 3–14.
- [Swa03] **Swain, J.J.** Simulation Reloaded: Sixth biennial survey of discrete-event software tools. OR/MS Today 30(4), 2003. –Стр. 46–57.