

Имитационное моделирование логистических сетей

Ю.И. Толуев

Университет им. Отто фон Герике,
Институт организации и автоматизации промышленного производства
общества Фраунгофера, Магдебург
juri.tolujew@iff.fraunhofer.de

Simulation logistischer Netze

Juri Tolujew

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,
Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -atomisierung IFF
juri.tolujew@iff.fraunhofer.de

Аннотация

В работе рассматриваются как методологические, так и практические аспекты применения средств имитационного моделирования для анализа логистических сетей. Показано, что с точки зрения практики моделирования следует различать два типа сетей: сети внутрипроизводственной логистики и сети поставок. При моделировании обоих типов сетей в большинстве случаев применяются универсальные пакеты программ имитационного моделирования, созданные для моделирования систем с дискретными событиями. Так как моделирование сетей внутрипроизводственной логистики уже давно не составляет проблем для специалистов, главное внимание в работе уделяется теории и практике имитационного моделирования цепей поставок. Приведен список свободно доступных в Интернете публикаций на эту тему, включающий 31 работу.

Kurzfassung

Im Beitrag werden sowohl die methodischen als auch die praktischen Aspekte der Anwendung von Simulationswerkzeugen zur Analyse logistischer Netze behandelt. Es wird gezeigt, dass zwei Typen von Netzen aus Sicht der praktischen Modellierung zu unterscheiden sind: Interne Netze der Produktionslogistik und Liefernetze. Zur Modellierung dieser beiden Netztypen werden in den meisten Fällen universelle Programmpakete angewendet, die zur Simulation von Systemen mit diskreten Ereignissen entwickelt worden sind. Da die Modellierung von internen Netzen der Produktionslogistik für Spezialisten schon längst keine Probleme mehr darstellt, sind die Theorie und Praxis der Simulation von Liefernetzen Hauptobjekt der Betrachtung im vorliegenden Beitrag. Eine Liste mit 31 Publikationen zu diesem Thema ist angeführt, wobei alle Publikationen im Internet zugänglich sind.

Введение

Понятие логистической сети является базовым понятием при проведении работ по анализу и моделированию логистических систем самого различного назначения и масштаба, начиная с внутренней логистики небольшого промышленного предприятия и заканчивая системами поставки грузов и товаров, относящимися к глобальной (всемирной) логистике. Понятия внутренней и внешней логистики связываются при этом с неким конкретным (фокусным) промышленным или логистическим предприятием (рис. 1), а понятие территориальной логистики связывается с комплексом логистических услуг, которые выполняются на некоторой конкретной территории (начиная от города и заканчивая земным шаром) логистическим предприятием, которое само не может быть представлено в виде узла в структуре материальных потоков (рис. 2).

С точки зрения методологии и техники моделирования достаточным является разделение логистических сетей на два класса:

- сети внутренней логистики промышленного или логистического предприятия;
- сети поставок, т. е. сети внешней логистики предприятия или сети территориальной логистики.

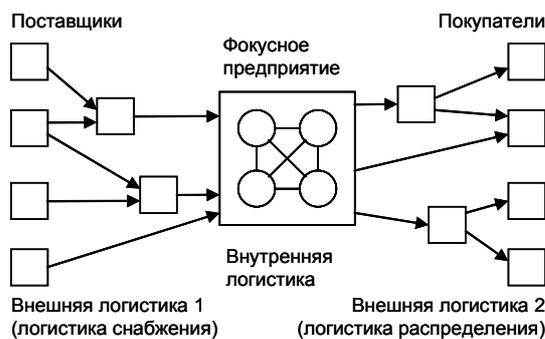


Рис. 1. Внутренняя и внешняя логистика предприятия

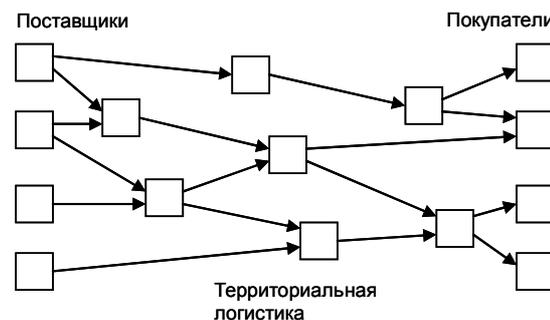


Рис. 2. Территориальная логистика

На рис. 3 показана классификация методов моделирования логистических сетей, в которой определено также и место имитационного моделирования, являющегося предметом рассмотрения данной статьи. Общее свойство количественных моделей заключается в том, что они позволяют получать численные оценки показателей функционирования логистической сети, на основании которых принимаются решения о конфигурации сети, об объеме и производительности требуемых для её функционирования ресурсов, а также связанных с ними стратегиях диспетчирования и управления. Особенностью имитационных моделей является тот факт, что многие из показателей функционирования оцениваются не в виде констант, а в виде временных рядов (функций времени), отражающих динамику процессов, развивающихся в реальных системах. Единственной формой существования законченной имитационной модели является исполняемая компьютерная программа, которая приспособлена для проведения численных экспериментов, направленных на решение поставленной задачи анализа существующей или проектируемой логистической системы.

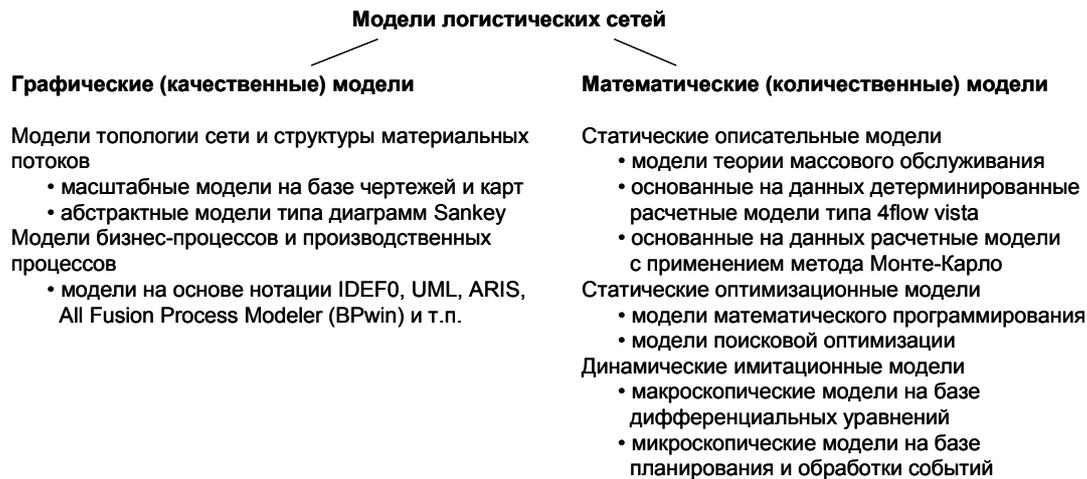


Рис. 3. Классификация методов моделирования логистических сетей

Данная статья построена таким образом, что после описания общих свойств имитационных моделей логистических сетей даётся информация о состоянии дел в области практического моделирования как сетей внутренней логистики, так и сетей поставок. Основное внимание при этом уделяется «классическим» микроскопическим моделям, создаваемым в соответствии с принципами планирования и обработки «дискретных событий» [1]. В статье приводится как обычный список литературы, так и специальный список, включающий в себя только наиболее значимые работы по имитационному моделированию цепей поставок, опубликованные в течение последних 10 лет в материалах ежегодно проводимой в США Winter Simulation Conference (WSC). Практическая полезность данного списка работ заключается в том, что все они в виде полных текстов доступны в Интернете.

Принципы построения и применения имитационных моделей

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

1. Разработка концептуальной модели.
2. Реализация модели с использованием программного пакета имитационного моделирования (ПИМ).
3. Планирование и проведение экспериментов с работающей моделью.

Как правило, уже на этапе разработки концептуальной модели исследователь точно знает, с помощью какого ПИМ модель будет реализована в виде компьютерной программы. Поэтому многие элементы концептуальной модели (например, типы отображаемых логистических объектов и ресурсов системы) бывают непосредственно сориентированы на возможности соответствующего ПИМ. Всегда учитывается тот факт, что в большинстве современных ПИМ готовая модель представляется как сетевая структура, узлы которой являются представителями (объектами) соответствующих библиотечных компонентов (классов). Если разработчик модели знаком с конкретным ПИМ, для него не составит большого труда выбрать в библиотеке ПИМ 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.

Полная методология создания концептуальных моделей, ориентированных на изучение материальных потоков в логистических сетях, включает в себя принципы построения следующих частичных моделей:

- моделей структуры системы обработки материальных потоков;
- моделей ассортимента и количества грузов в потоках;
- моделей пространственной вложенности грузов, носителей груза, транспортных средств и стационарных хранилищ груза;
- временных моделей входных потоков системы;
- моделей для определения длительности технологических операций;
- моделей маршрутизации динамических объектов (транспортных средств, носителей груза и самих грузов);
- моделей объединения и разделения динамических объектов;
- моделей стратегий обработки очередей ожидания;
- моделей стратегий управления запасами;
- моделей процессов распределения ресурсов и диспетчеризации.

Первая из отмеченных частичных моделей является моделью физической (пространственной) структуры системы. Модели второго и третьего типа служат для отображения структуры логистических объектов, перемещаемых и хранимых в системе. Все остальные модели составляют в совокупности модель процесса, развивающегося в логистической системе.

Подавляющее большинство имитационных моделей систем внутренней логистики и сетей поставок создаются с помощью занявших устойчивое место на рынке программных продуктов ПИМ для процессов с дискретными событиями, таких как Arena, AutoMod, eM-Plant (SIMPLE++, Plant Simulation), Enterprise Dynamics, Extend, ProModel, QUEST, Simul8 и WITNESS, а также с помощью универсального ПИМ AnyLogic. Сравнительно несложные или учебные модели создаются также с помощью языка GPSS, представленного на рынке в форме двух различных продуктов: GPSS World и GPSS/H.

Рис. 4 иллюстрирует тот факт, что результаты имитационного моделирования не «вычисляются по готовым формулам», как это имеет место при применении аналитических моделей, а являются продуктом (статистической) обработки и интерпретации данных, наблюдаемых и фиксируемых в процессе обработки моделирующей программы на компьютере. Такой способ изучения процессов принципиально не отличается от того, который применяется по отношению к реальным системам. Ясно также, что имитационная модель, как объект измерений, в отличие от реальных систем, является полностью доступной системой.



Рис. 4. Получение и интерпретация данных о процессах при имитационном моделировании

На рис. 5 имитационная модель логистической системы изображена в виде «чёрного ящика». Именно такая форма представления модели применяется на этапе планирования и реализации имитационных (численных) экспериментов с моделью. Первичные показатели, фиксируемые на выходе модели, измеряются с помощью соответствующих физических величин. К таким показателям относятся объём перевезённого или обработанного груза, моменты времени начала и окончания операций, длительности процессов обработки заказов, число выполненных поездок и других технологических операций, суммарный путь, пройденный транспортными средствами, и т. п. Путём использования соответствующих нормативных коэффициентов на базе первичных показателей могут быть рассчитаны любые требуемые экономические показатели.

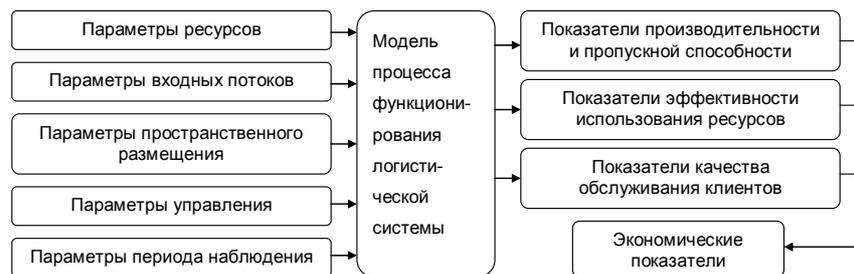


Рис. 5. Исходные данные и результаты имитационного моделирования логистической системы

Основные преимущества имитационного моделирования связаны с большой «свободой творчества», которую, однако, может эффективно использовать только эксперт в области имитационного моделирования. К таким преимуществам относятся:

- Свободный выбор уровня детализации отображения процессов в модели (действует принцип: могу отобразить в модели всё то, что доступно моему пониманию и что соответствует целям моделирования).
- Отсутствие ограничений на сложность логики моделируемых процессов и воспроизводимых в модели алгоритмов управления.
- Отсутствие ограничений на структуру и объём исходных данных моделирования.

Известны также и трудности, связанные с применением имитационного моделирования в логистике:

- Большие затраты времени и финансовых средств:
 - на приобретение ПИМ,
 - на подготовку детальных исходных данных,
 - на разработку и проверку (верификацию и валидацию) модели,
 - на планирование и проведение имитационных экспериментов,
 - на привлечение экспертов в области имитационного моделирования.
- Модель в значительной мере отражает субъективные представления разработчика модели о моделируемой системе (действует принцип: сколько разработчиков, столько и моделей).
- Модель, как правило, может быть эффективно применена для исследования только одной системы-оригинала. Существует характерное противоречие: чем точнее модель отображает одну конкретную систему, тем менее пригодной она оказывается для исследования других, даже аналогичных систем.

О других особенностях применения имитационного моделирования для анализа процессов в логистических сетях можно прочитать в [2] и [3].

Модели систем внутренней логистики

К процессам внутренней логистики предприятия относятся процессы перемещения и хранения объектов в пределах 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 и сортировки 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.

Понятно, что любая комплексная модель внутренней логистики реального предприятия может представлять собой произвольную комбинацию перечисленных выше видов моделей.

Следует отметить, что создание моделей систем внутренней логистики для профессионалов в области имитационного моделирования является «делом техники», так как в большинстве случаев не возникает серьёзных проблем при выборе способов отображения элементов реальной системы с помощью средств ПИМ, имеющегося в распоряжении разработчика модели. Это объясняется тем, что все перечисленные выше ПИМ для процессов с дискретными событиями были специально созданы для моделирования именно систем дискретного производства и внутрипроизводственной логистики. Методы и техника данного вида имитационного моделирования почти окончательно сформировались к середине 90-х годов. В качестве хорошего учебника по основам моделирования систем обработки материальных потоков можно рекомендовать [4]. Полное (и свободно доступное в Интернете) описание одного из самых популярных в США ПИМ AutoMod содержится в [5].

На рис. 6 показан фрагмент сетевой структуры модели конвейерной системы, выполненной с помощью ПИМ eM-Plant. Модули типа М (method) являются программами, написанными разработчиком модели. Необходимость создания таких собственных программ возникает при разработке моделей на базе всех известных ПИМ, так как только с их помощью решаются такие проблемы, как:

- реализация алгоритмов диспетчирования и управления потоками заказов и материальными потоками;
- сбор данных об отдельных событиях логистического процесса, а также специальная статистическая обработка и визуализация этих данных, которая не может быть реализована с помощью стандартных средств применяемого ПИМ;
- ввод массивов исходных данных модели и вывод массивов данных с результатами моделирования (например, с целью их обработки и визуализации средствами MS Excel).

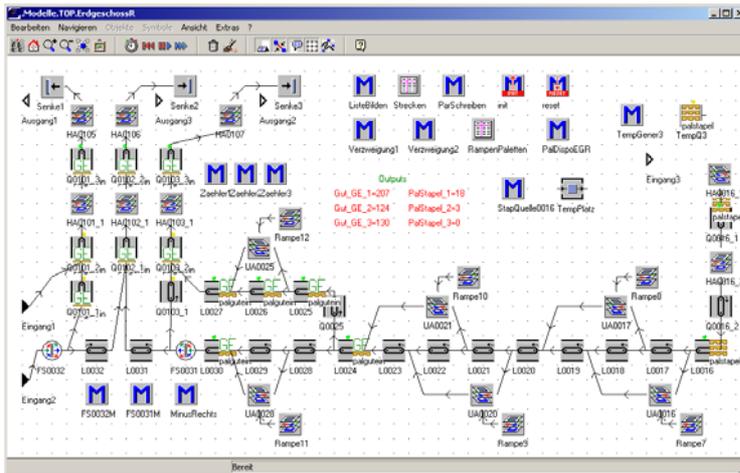


Рис. 6. Фрагмент имитационной модели, выполненной с помощью eM-Plant

При создании, отладке и демонстрации имитационных моделей процессов внутренней логистики часто применяется компьютерная анимация типа 2D. В некоторых ПИМ такая анимация происходит в режиме online, т. е. одновременно с обработкой самой модели, а в других ПИМ при обработке модели создаётся протокол событий, который потом интерпретируется средствами анимации в режиме offline (см. рис. 4). На рис. 7 показан фрагмент анимационной модели производственного участка, обслуживаемого вилочными погрузчиками. Данная модель демонстрируется в режиме offline с помощью анимационного пакета Proof Animation.

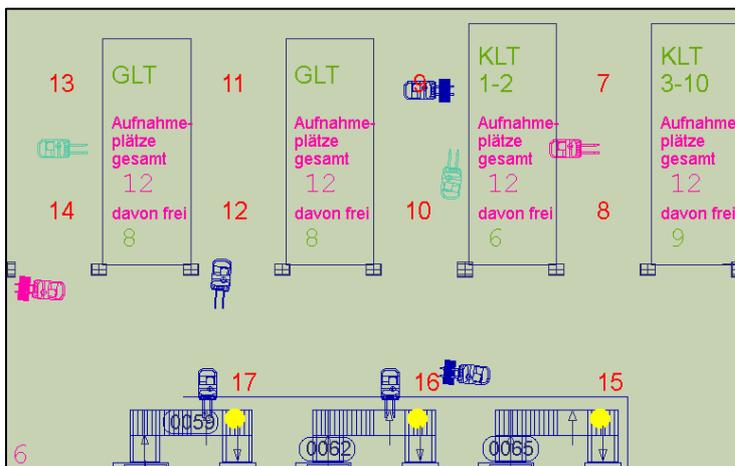


Рис. 7. Фрагмент анимационной модели, выполненной с помощью Proof Animation

В материалах WSC каждый год публикуется не менее 10 статей, связанных с моделированием процессов внутренней логистики. Статья [6] приведена в качестве примера, в котором рассматриваются методы эффективного моделирования складских процессов.

Модели сетей поставок

В сетях поставок производится перевозка грузов и товаров между различными географическими пунктами с применением обычных средств транспорта: автомобильного, железнодорожного, речного, морского и воздушного транспорта. 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. Чаще всего модели процессов внутренней и внешней логистики создаются и исследуются отдельно друг от друга, но в некоторых случаях создаются и комплексные модели.

Модели сетей поставок в силу ряда объективных причин не являются «массовым продуктом», производимым специалистами по имитационному моделированию. Сложности возникают уже на этапе формирования концептуальной модели, в рамках которой чётко должны быть определены, в частности, следующие моменты:

- где будут проходить «границы системы», что будет являться её входными и выходными потоками;
- какие географические пункты и транспортные каналы должны быть приняты во внимание при описании пространственной структуры системы;
- какие виды транспорта и по каким тарифам должны осуществлять перевозки, кто из участников процесса поставок должен предоставлять транспортные средства;
- каково будет расположение мест промежуточного хранения и перевалки грузов, какие будут условия и тарифы для выполнения этих операций;
- какие предусматриваются ограничения и, соответственно, степени свободы при выборе средств транспорта, правил их загрузки, маршрутов движения, пунктов отправки грузов, пунктов промежуточного складирования и перевалки;
- каких «стандартных стратегий» управления сетями поставок должны придерживаться участники процесса поставок;
- к какому периоду времени относятся данные от клиентов о спросе на выполнение поставок, насколько полными и надёжными являются эти данные.

Вполне естественным является предположение о том, что любой из перечисленных выше аспектов организации сети поставок может рассматриваться как «варьируемый фактор» при проведении соответствующего исследования. Это значит, что моделирующая программа должна предоставлять возможности для ввода исходных данных, имеющих весьма сложную структуру, сильно отличающуюся от обычных двумерных таблиц. Дополнительные трудности при разработке модели могут возникнуть вследствие её размерности, так как число поставщиков, клиентов, исполнителей логистических услуг, географических пунктов и типов поставляемых продуктов может достигать нескольких сотен.

Хотя перечисленные выше ПИМ не ориентированы специально на моделирование сетей поставок, большинство моделей такого рода создаётся именно на базе этих пакетов (например, пакет Arena упоминается в WSC4, WSC24, WSC26 и WSC28, пакет Extend – в WSC8, WSC12, WSC15 и WSC19, пакет AnyLogic – в WSC11 и WSC30, а пакет ProModel – в WSC1). На рис. 8 показана модель цепи поставок, разработанная с помощью ПИМ AnyLogic, а на рис. 9 – результат моделирования цепи поставок, полученный с помощью ПИМ eM-Plant.

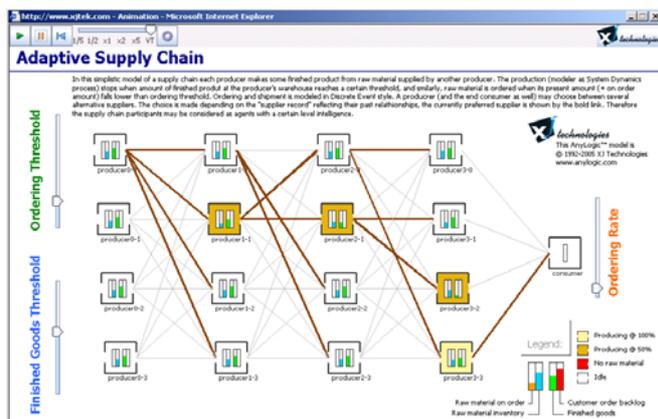


Рис. 8. Модель цепи поставок, выполненная с помощью AnyLogic

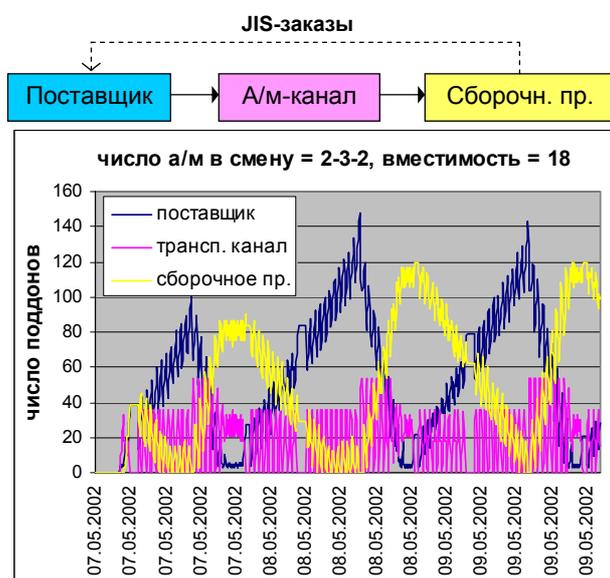


Рис. 9. Результаты имитационного моделирования на eM-Plant

Известны также специальные пакеты для моделирования сетей поставок, такие как PRODISI, LogicNet Plus, Supply Chain Builder и SimFlex. На рис. 10 на примере пакета PRODISI показан типичный интерфейс пользователя, позволяющий, в частности, отображать топологию сети поставок в виде модели, созданной на базе географической информационной системы (GIS).

Для исследования общих свойств цепей поставок, проявляющихся на протяжении длительных периодов времени (например, многих месяцев), в 80-е и 90-е годы было создано довольно много «абстрактных» макроскопических моделей, основанных на дифференциальных уравнениях (например, в форме моделей системной динамики по Форрестеру). С помощью моделей этого класса (WSC3, WSC6 и WSC13) можно, например, проиллюстрировать возникновение «эффекта хлыста» в цепях поставок. Практическая польза от таких моделей для оценки процессов в конкретных сетях поставок наблюдается крайне редко, так что число новых моделей этого класса растёт с каждым годом всё медленнее.

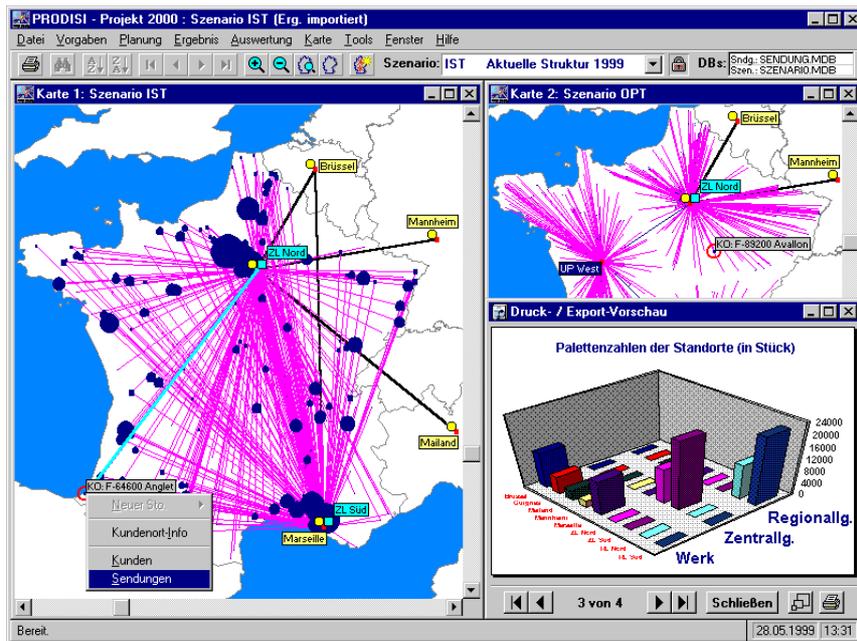


Рис. 10. Интерфейс пользователя пакета PRODISI
(источник: www.prologos.de/Prodisi.htm)

Оценивая характер работ по моделированию цепей и сетей поставок, публикуемых в материалах WSC, можно заметить, что приблизительно до 2004 года основное внимание уделялось проблеме собственно отображения моделируемой сети с помощью универсальных или специализированных программных средств программирования и моделирования. Но в последнее время акцент делается на решении задач анализа процессов функционирования сети при различных стратегиях управления цепями поставок (SCM). Опубликованы также работы (WSC30 и WSC31), в которых с помощью имитационных моделей решаются задачи оптимизации процессов в цепях поставок.

Заключение

Имитационное моделирование логистических сетей различного назначения является в индустриально развитых странах вполне обычной составной частью проектов, направленных на создание новых или реконструкцию существующих логистических систем. В Западной Европе и США имеется достаточно много фирм, которые предлагают такое моделирование как основной или дополнительный вид услуг, выполняемых в рамках консалтинговых или проектных работ. При этом у заказчиков давно сложилось мнение, что разработку сложных (и, следовательно, дорогих) моделей можно поручать только специалистам, имеющим статус экспертов в области имитационного моделирования логистических систем, которые:

- обладают базовыми инженерными и экономическими знаниями, необходимыми для понимания принципов функционирования определенных классов логистических систем;
- владеют методами системного анализа и управления проектами, необходимыми для корректной постановки задачи моделирования и организации всех этапов работ по реализации и использованию моделей;
- владеют независимыми от конкретных ПИМ общими методами имитационного моделирования, в особенности, математическими методами;

- владеют методами работы с одним или несколькими ПИМ и умеют создавать собственные компьютерные программы;
- знакомы с современными информационными технологиями, обеспечивающими интеграцию моделей в системах проектирования, планирования и управления.

На территории стран бывшего СССР имитационное моделирование логистических систем как вид профессиональной деятельности просто не существует [7]. Автору данной статьи не известны фирмы, предлагающие такой вид услуг на соответствующем рынке. Единственным «очагом» имитационного моделирования в России остаётся фирма XJ Technologies, но на выполнение проектов именно в области логистики она не ориентируется. Хотя во многих учебных заведениях России работают настоящие энтузиасты имитационного моделирования, из 112 докладов, представленных на Третьей всероссийской научно-практической конференции ИММОД07, лишь один доклад можно отнести к области «настоящей» логистики.

Литература

1. Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа ВНУ, 2004.
2. Толуев Ю.И., Некрасов А.Г., Морозов С.И. Анализ и моделирование материальных потоков в сетях поставок // Интегрированная логистика – 2005, №5, с. 7-14.
3. Толуев Ю.И. Применение имитационного моделирования для исследования логистических процессов // Имитационное моделирование. Теория и практика: Сб. Второй всероссийской научно-практической конференции – СПб.: ФГУП ЦНИИ ТС, 2005, с. 71-76.
4. Banks, J., J.S. Carson, II, B.L. Nelson, D.M. Nicol. Discrete-Event System Simulation, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 2000.
5. Banks, J. Getting Started with AutoMod. Second Edition, Brooks Automation, 2004. 602 с. (<http://www.automod.com>).
6. Burnett D., T. Le Baron. Efficiently Modeling Warehouse Systems. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, pp. 1001-1006.
7. Борщев А.В. Применение имитационного моделирования в России – состояние на 2007 г. // Имитационное моделирование. Теория и практика: Сб. Третьей всероссийской научно-практической конференции – СПб.: ФГУП ЦНИИ ТС, 2007, с. 11-16.

Дополнительная литература

(адрес в Интернете: www.informs-sim.org/wscpapers.html)

- WSC1 Saku Hieta. Supply Chain Simulation with LOGSIM-Simulator. Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, pp. 323-326.
- WSC2 Umeda, S. and A. Jones. An integration test-bed system for supply chain management. In Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, pp. 1377-1385.
- WSC3 Anderson, E.G., Morrice, D.J. A simulation model to study the dynamics in a service-oriented supply chain. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, pp. 742-748.
- WSC4 Ingalls, R.G., and C. Kasales. CSCAT: The Compaq supply chain analysis tool. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, pp. 1201-1206.
- WSC5 Hicks, D.A. A four-step methodology for using simulation and optimization technologies in strategic supply chain planning. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, pp. 1215-1220.

- WSC6 Angerhofer, B. J. and M. C., Angelides. System Dynamic Modeling in Supply Chain Management: A Research Review. Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, pp. 342-351.
- WSC7 Schunk, D. and B. Plott. Using simulation to analyze supply chain. Proceedings of 2000 Winter Simulation Conference, pp. 1095-1099.
- WSC8 Richard A. Phelps, David J. Parsons, and Andrew J. Siprelle. SDI Supply Chain Builder: Simulation from Atoms to the Enterprise. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, pp. 246-249.
- WSC9 Chatfield, D.C., Harrison, T.P., and Hayya, J.C. SISCO: A Supply Chain Simulation Tool Utilizing SILK and XML. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, pp. 614-622.
- WSC10 Leonardo Chwif, Marcos Ribeiro Pereira Barretto, and Eduardo Saliby. Supply Chain Analysis: Spreadsheet or Simulation? Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, pp. 59-66.
- WSC11 Christian Wartha, Momtchil Peev, Andrei Borshchev, and Alexei Filippov. Decision Support Tool – Supply Chain. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, pp. 1297-1301.
- WSC12 Duarte B.M., J. W. Fowler, E. Gel, and D. Shunk. Parameterization of Fast and Accurate Simulation for Complex Supply Networks. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, pp. 1327-1336.
- WSC13 Dieter Armbruster, Daniel Marthaler, and Christian Ringhofer. Efficient Simulations of Supply Chains. Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, pp. 1345-1348.
- WSC14 Edward J. Williams and Ali Gunal. Supply Chain Simulation and Analysis with SimFlex™. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, pp. 231-237.
- WSC15 Andrew J. Siprelle, David J. Parsons, and Robin J. Clark. Benefits of Using a Supply Chain Simulation Tool to Study Inventory Allocation. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, pp. 238-245.
- WSC16 Surya Dev Pathak, David M. Dilts, and Gautam Biswas. A Multi-Paradigm Simulator for Simulating Complex Adaptive Supply Chain Networks. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, pp. 808-816.
- WSC17 Gary W. Godding, Hessam S. Sarjoughian, and Karl G. Kempf. Semiconductor Supply Network Simulation. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, pp. 1593-1601.
- WSC18 Manuel D. Rossetti, and Hin-Tat Chan. A Prototype Object-Oriented Supply Chain Simulation Framework. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, pp. 1612-1620.
- WSC19 Malay A. Dalal, Henry Bell and Mike Denzien and Michael P. Keller. Initializing a Distribution Supply Chain Simulation with Live Data. Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, pp. 1621-1626.
- WSC20 Surya Dev Pathak, David M Dilts, and Gautam Biswas. Simulating Growth Dynamics in Complex Adaptive Supply Networks. Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, pp. 774-781.
- WSC21 Young M. Lee, Feng Cheng, and Ying Tat Leung. Exploring the Impact of RFID on Supply Chain Dynamics. Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, pp. 1145-1152.
- WSC22 Shigeki Umeda, and Y. Tina Lee. Design Specifications of a Generic Supply Chain Simulator. Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, pp. 1158-1166.

- WSC23 Hongwei Ding, Lyès Benyoucef, Xiaolan Xie, Carl Hans, and Jens Schumacher. "ONE" a New Tool for Supply Chain Network Optimization and Simulation. Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, pp. 1404-1411.
- WSC24 Sanjay Jain and Swee Leong. Stress Testing a Supply Chain Using Simulation. Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, pp. 1650-1657.
- WSC25 Jack G.A.J. van der Vorst, Seth Tromp, and Durk-Jouke van der Zee. A Simulation Environment for the Redesign of Food Supply Chain Networks: Integrating Quality Controlled Logistics. Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, pp. 1658-1667.
- WSC26 Douglas J. Morrice, Richard A. Valdez, Jack P. Chida, Jr., and Missan Eido. Discrete Event Simulation in Supply Chain Planning and Inventory Control at Freescale Semiconductor, Inc. Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, pp. 1718-1724.
- WSC27 Hongwei Ding, Changrui Ren, Wei Wang, and Jin Dong. Applying Simulation in a Supply Chain Transformation Case. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, pp. 614-620.
- WSC28 Rong Liu, Akhil Kumar, and Alan Stenger. Simulation Results for Supply Chain Configurations Based on Information Sharing. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference, pp. 627-635.
- WSC29 Dayana Cope, Mohamed Sam Fayez, Mansooreh Mollaghasemi, and Assem Kaylani. Supply Chain Simulation Modeling Made Easy: An Innovative Approach. Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, pp. 1887-1896.
- WSC30 Christian Almeder and Margaretha Preusse. A Toolbox for Simulation-based Optimization of Supply Chains. Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, pp. 1932-1939.
- WSC31 Hongwei Ding, Wei Wang, Jin Dong, Minmin Qiu, and Changrui Ren. IBM Supply-chain Network Optimization Workbench: An Integrated Optimization and Simulation Tool for Supply Chain Design. Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, pp. 1940-1946.