

Моделирование логистических процессов: традиции и инновации

Лекция 2: Современные методы и средства имитационного моделирования

Приват-доцент, хабилитированный доктор естественных наук Юрий Иванович Толуев
Институт организации и автоматизации промышленного производства им. Фраунгофера IFF
Sandtorstr. 22, 39106 Magdeburg, BRD
Тел.: +49-391-4090310
tolujew@iff.fraunhofer.de

Понятие теоретической логистики

Теоретики в области логистики на первых порах изучали исторически сложившиеся приёмы и методы организации процессов, анализировали технику и варианты действий, а также разрабатывали решения для текущих задач.

Чтобы поспевать за изменениями в практике и сохранять способность эффективно использовать новые операционные возможности, теоретическая логистика должна превратиться из преимущественно описательной, *ориентированной на опыт науки*, в рационально обоснованную *познавательную науку*.

Теоретическая логистика должна знакомить с основами и стратегиями логистики, а также организационными, техническими и экономическими вариантами действий, предназначенными для систематического и целенаправленного решения логистических задач на практике.

Перевод фрагментов из источника:

T. Gudehus. *Logistik: Grundlagen, Strategien, Anwendungen*. 2. Auflage, Springer-Verlag, 2003.



План лекции:

1. Свойства современных симуляторов
2. Обзор современных симуляторов
3. Особенности моделирования логистических систем



1. Свойства современных симуляторов

Поколения программных средств имитационного моделирования

1-е поколение	`60	Стандартные языки программирования	FORTRAN ALGOL etc.
2-е поколение	`70	Специальные языки программирования	SLAM SIMSCRIPT GPSS SIMULA etc.
3-е поколение	`80	Основанные на компиляторах инструменты с графическим интерфейсом для создания моделей и анимацией	Arena Promodel Quest Witness
4-е поколение	`90	Основанные на интерпретаторах инструменты, имеющие: объектную ориентацию, интегрированность, коммуникацию в реальном времени, адаптацию к пользователю	eM-Plant

Общая оценка пакетов для имитационного моделирования

Оценку важнейших «потребительских качеств» пакета для имитационного моделирования можно получить, ответив на вопросы:

1. Как поддерживается (облегчается и ускоряется) работа программиста на этапах создания и отладки модели?
2. Каким образом программист сможет продемонстрировать «представителю заказчика» работающую модель и убедить его в её адекватности?
3. Позволит ли быстродействие симулятора проводить такие эксперименты с моделями, для которых эти модели и создаются?
4. Возникнут ли проблемы, если модель надо будет интегрировать в информационную систему заказчика в такой степени, как он того пожелает сегодня, а, может быть, и завтра?

Общие требования, предъявляемые к симуляторам

- гибкость при создании моделей (modeling flexibility)
 - «произвольная» гибкость в программах
 - возможность выйти за первоначально предложенные рамки
 - применение определённых пользователем переменных и объектов
 - модификация существующих переменных, объектов и процессов
- простое обращение с пакетом (ease of use)
 - графический интерфейс (GUI) или соответствующие редакторы
- иерархия в структуре модели
- наличие отладчика
- высокая скорость обработки моделей
- удобные для пользователя «front ends» (внешние интерфейсы)
- функции импорта/экспорта

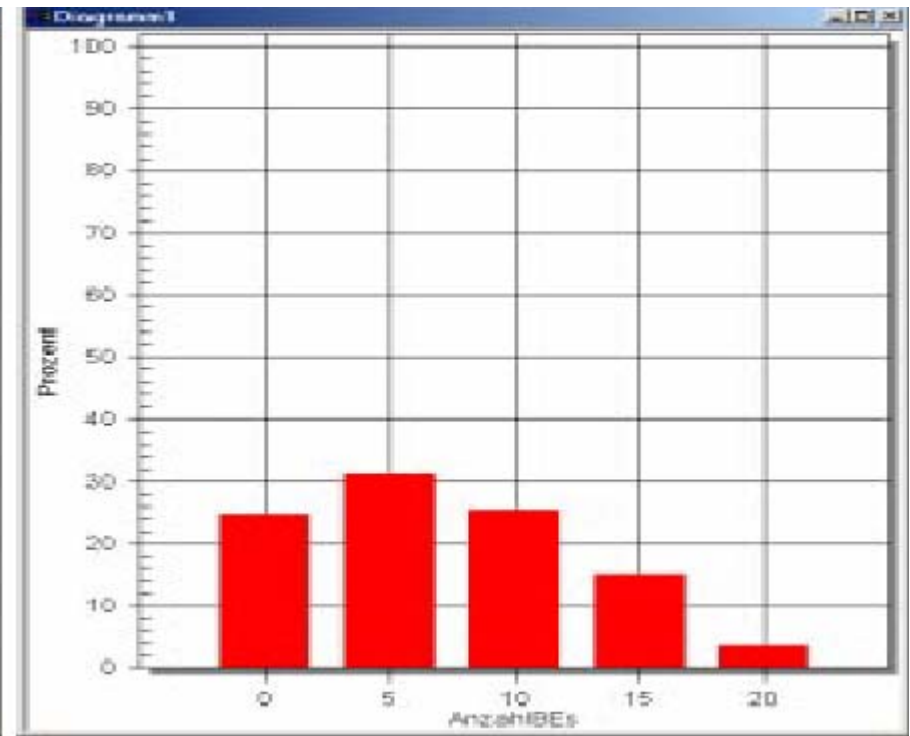
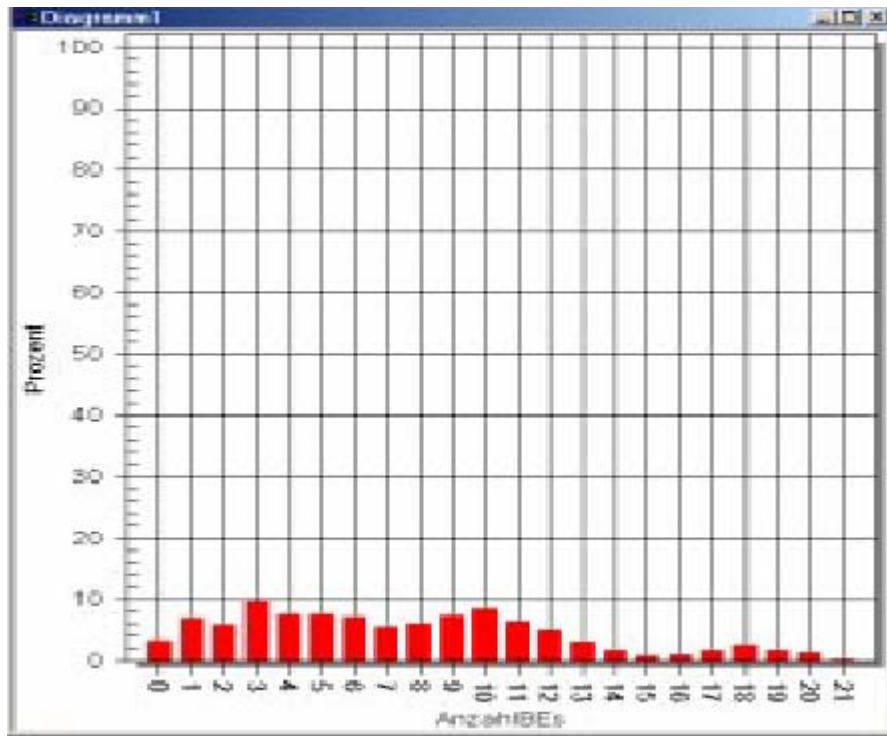
Требования, предъявляемые к симуляторам в плане применения статистических методов

- «хорошие» генераторы случайных чисел
- воспроизведение заданных функций распределения
- возможность работы с независимыми и зависимыми между собой последовательностями случайных чисел
- построение интервальных оценок результатов моделирования и гистограмм
- стирание статистических данных после фазы «разогрева» модели (warm-up)
- поддержка при планировании имитационных экспериментов

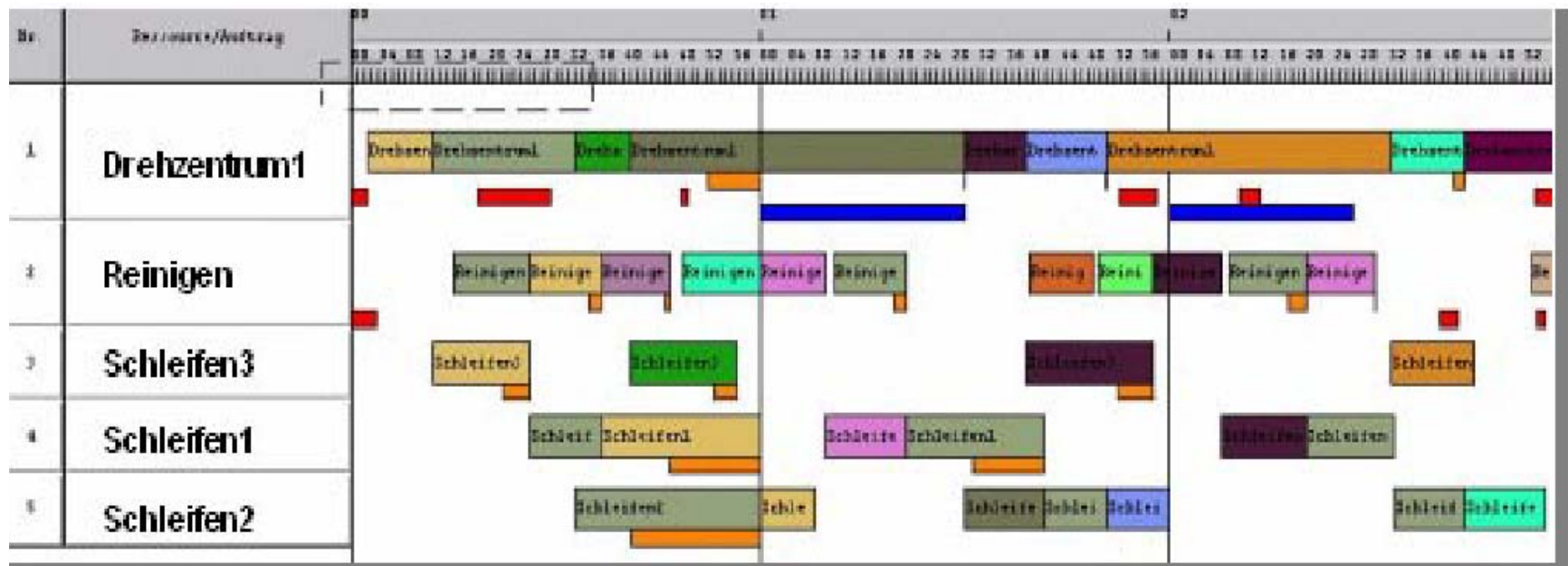
Требования, предъявляемые к симуляторам в плане вывода результатов и визуализации

- стандартный вывод и/или вывод, определённый пользователем
- диаграммы для отображения статических показателей
- гистограммы для интерпретации случайных показателей
- временные графики процессов
- анимация

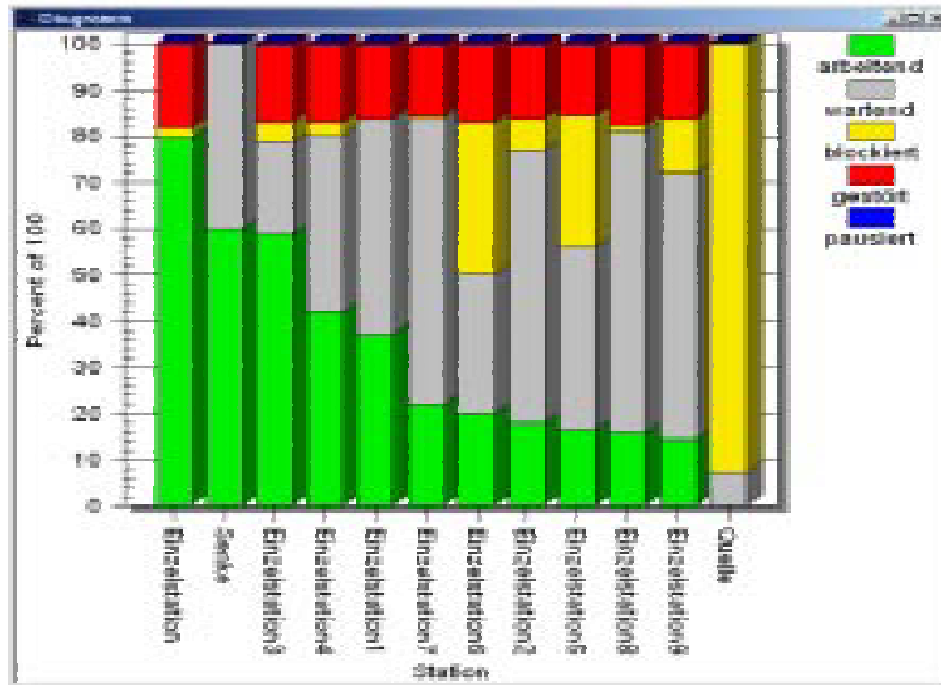
Гистограммы



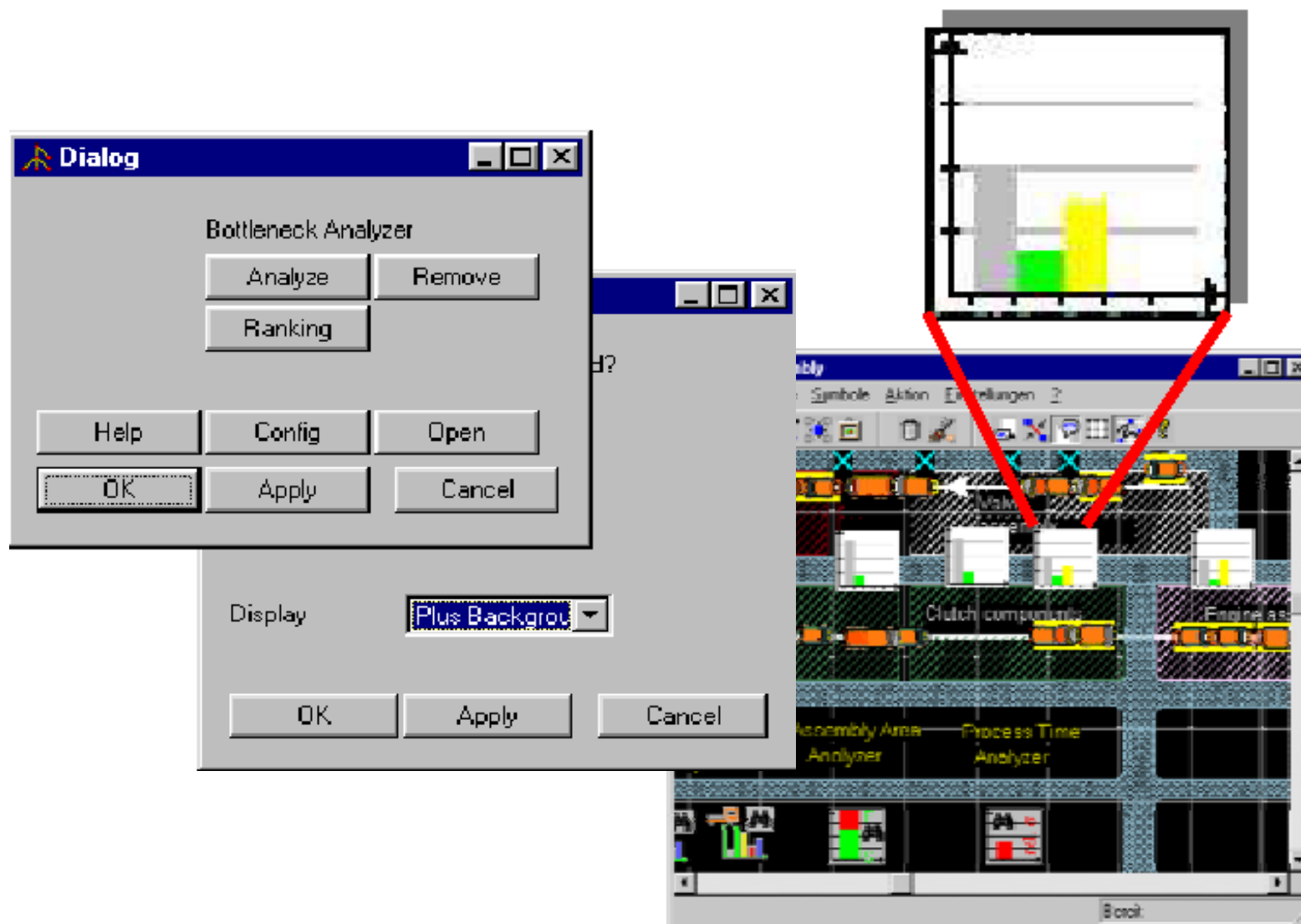
Диаграммы Ганта



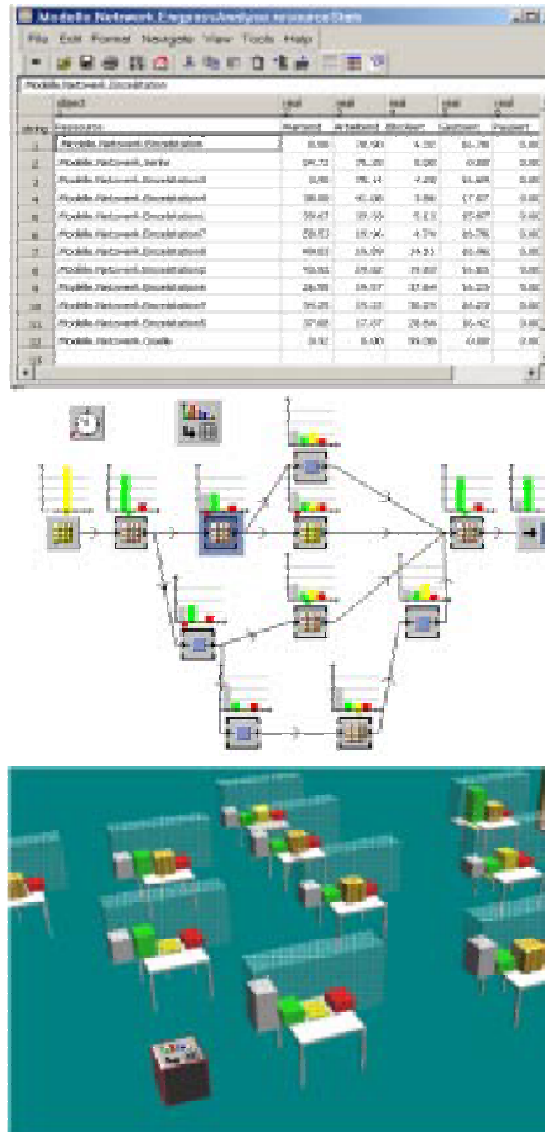
Статистический Wizard



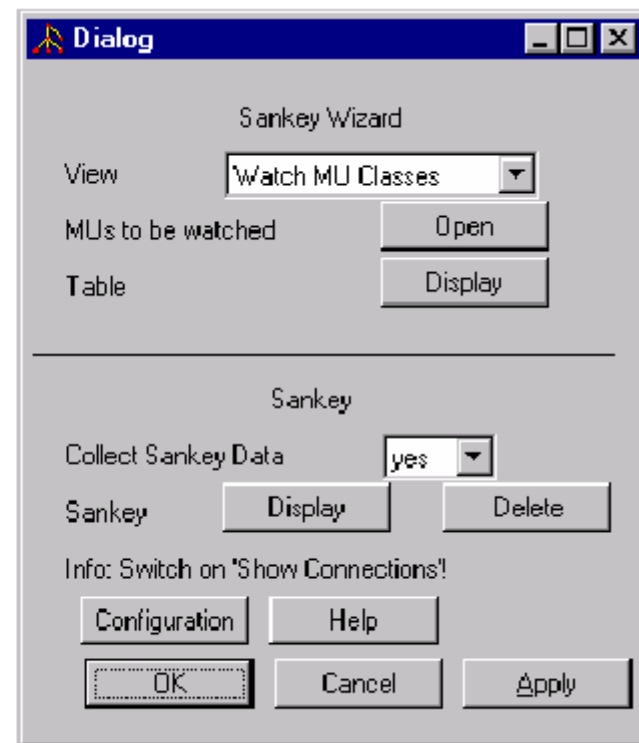
Анализ «узких мест» в модели (1)



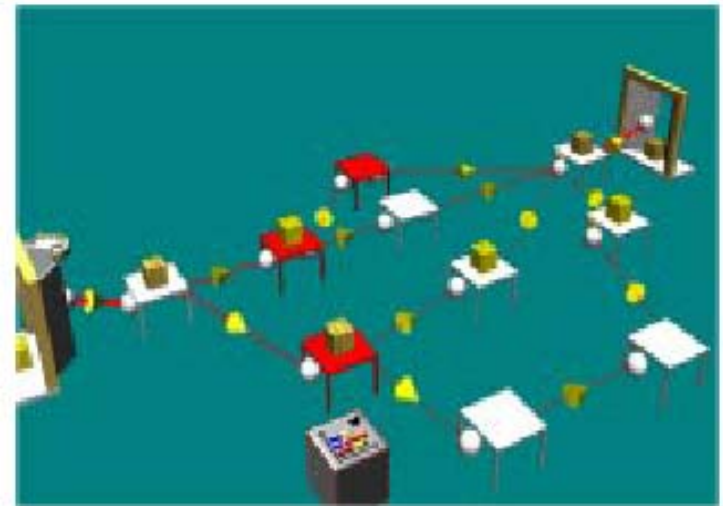
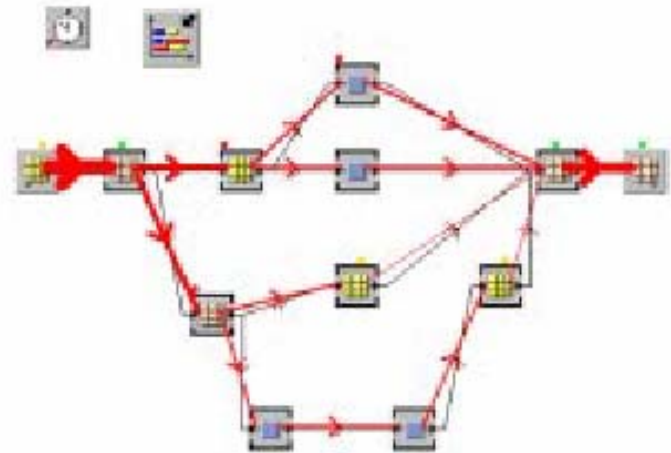
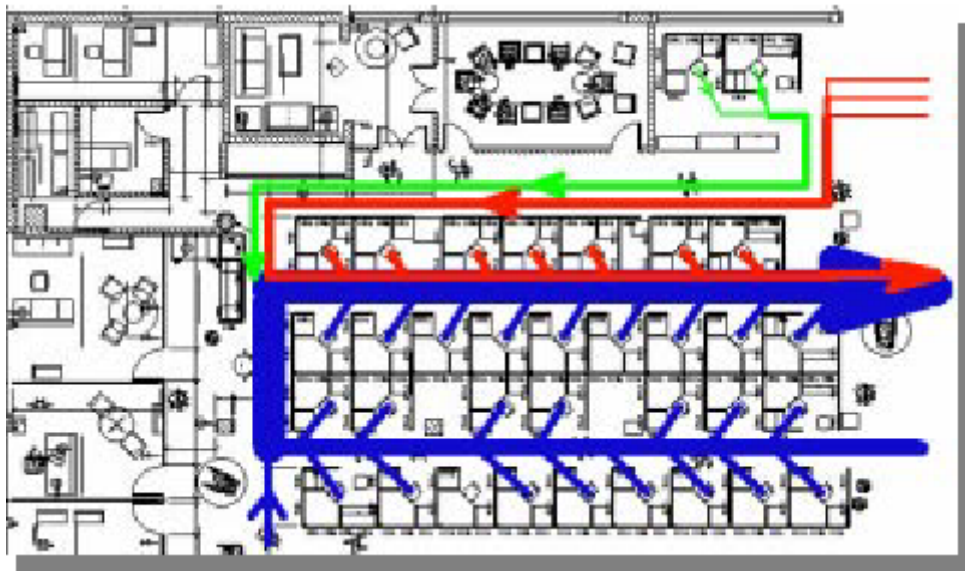
Анализ «узких мест» в модели (2)



Представление материальных потоков в виде диаграмм Sankey (1)



Представление материальных потоков в виде диаграмм Sankey (2)

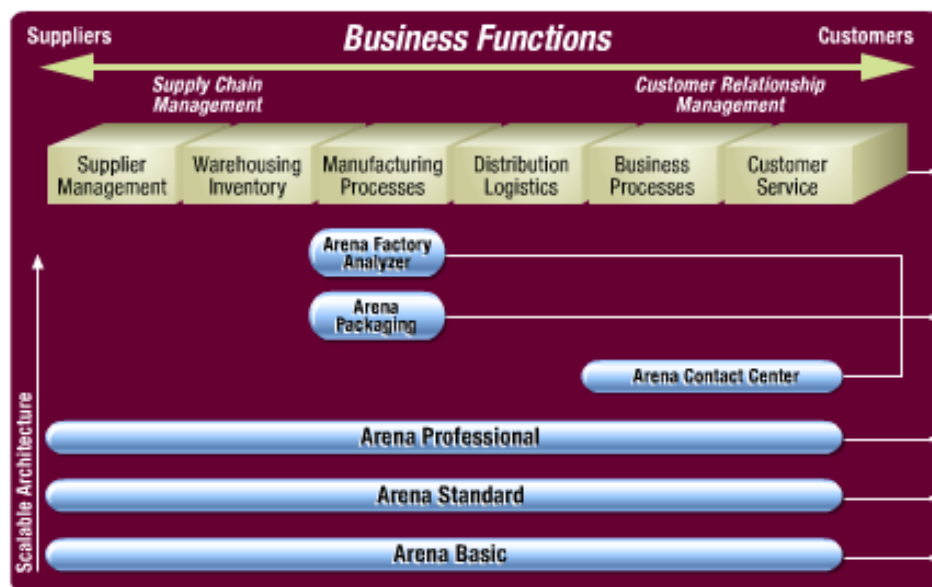
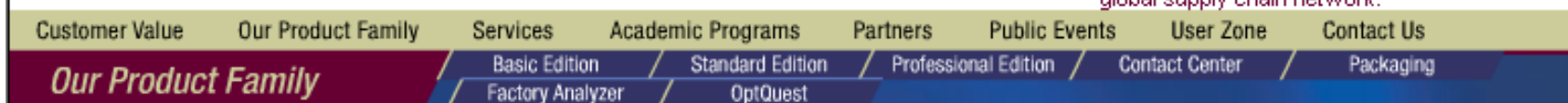


2. Обзор современных симуляторов

Arena: моделируемые конструкции называются «модулями», которые объединяются в рамках «Templates»

Arena® *Forward Visibility for Your Business™*

Price Waterhouse Coopers uses Arena to redesign customers global supply chain network.



Arena Product Overview



Related Information

[Basic Edition](#)
[Standard Edition](#)
[Professional Edition](#)
[Contact Center](#)
[Packaging](#)
[Factory Analyzer](#)
[OptQuest](#)

<http://www.arenasimulation.com/>

Extend: модели создаются из заранее подготовленных блоков; модификацию модели можно реализовать с помощью языка ModL

The screenshot displays the homepage of the Imagine That! website, which promotes the Extend simulation tool. The header features the company logo and a navigation bar with links for 'WHAT'S NEW', 'ORDERING', 'CONTACT US', and 'LINKS'. A prominent red banner at the top reads 'imagination → simulation → realization'. The left sidebar contains a vertical menu with categories: 'Concepts & Solutions', 'Products & Ordering' (selected), 'Demos & Downloads', 'Support & Training', 'Extend E-Xchange', 'Academic Programs', 'Events & Links', 'About Us', and a 'HOME' button at the bottom. The main content area is titled 'Products' and includes a 'Go' button. A text block states: 'You know you need a simulation tool, but you're not sure which package is right for you. The information on this page should help you out.' To the right, a quote says: 'If you're confused on the market, let Advantage.' The 'Products' section lists several offerings: 'Extend Product Line' (with a computer icon), 'Add-Ons' (with a lightbulb icon), 'Companion Products' (with a calculator icon), 'User Comments' (with a person at a computer icon), 'Pricing' (with a price tag icon), and 'Ordering' (with a shopping cart icon). Each product listing includes a brief description of the tool or service.

imagination → simulation → realization

WHAT'S NEW | ORDERING | CONTACT US | LINKS

Concepts & Solutions

Products & Ordering

- Extend product line...
 - Extend Suite
 - Industry Suite
 - Extend + Industry
 - Extend + BPR + Mfg
 - Extend + Mfg
 - Extend + BPR
- Extend
- Add-on modules
- Companion products
- User comments
- Pricing & ordering

Demos & Downloads

Support & Training

Extend E-Xchange

Academic Programs

Events & Links

About Us

HOME

Products

You know you need a simulation tool, but you're not sure which package is right for you. The information on this page should help you out.

If you're confused on the market, let Advantage.

Extend™ Product Line

Meet the Extend family of simulation tools.

Add-Ons

Industry-specific third party modules powered by Extend.

Companion Products

Stand-alone tools that add features functionality, and new technologies to E:

User Comments

Hear what users say about Extend products.

Pricing

Full-featured, industrial tool at a reasonable price. Check it out! Learn about different licensing options here, too.

Ordering

Grab one (or more) for yourself!

<http://www.imaginethatinc.com>

AutoMod: основная область применения – производство и логистика; модификацию модели можно реализовать с помощью хорошо развитого языка программирования



- ▼ [Simulation](#)
- [AutoMod Suite](#)
- ▼ [Scheduling](#)
- ▼ [Semiconductor](#)
- ▼ [Consulting](#)
- ▼ [Literature Request](#)
- ▼ [Industry Use](#)
- ▼ [AutoMod Bucks!](#)
- ▼ [Academic Site](#)
- ▼ [Customer Support](#)
- ▼ [Maintuser Area](#)
- ▼ [FTP Site](#)
- ▼ [Training](#)
- ▼ [Contact Us](#)
- ▼ [Job Opportunities](#)
- ▼ [Alliances](#)
- ▼ [News](#)
- ▼ [Events](#)
- ▼ [Search](#)
- ▼ [Go to Main Page](#)

Simulation Solutions

The AutoMod™ Suite of simulation software provides unsurpassed tools for the design, analysis and emulation of complex systems. AutoMod combines Virtual Reality (VR) graphics with a flexible, powerful discrete and continuous simulation environment. Templates of commonly used components facilitate quick and accurate modeling of a wide range of systems, such as:

- Manufacturing operations
- Material handling systems
- Tanks and pipe networks
- Warehousing/distribution centers
- Transportation and logistics systems
- Baggage handling and airport operations
- Semiconductor manufacturing and material handling



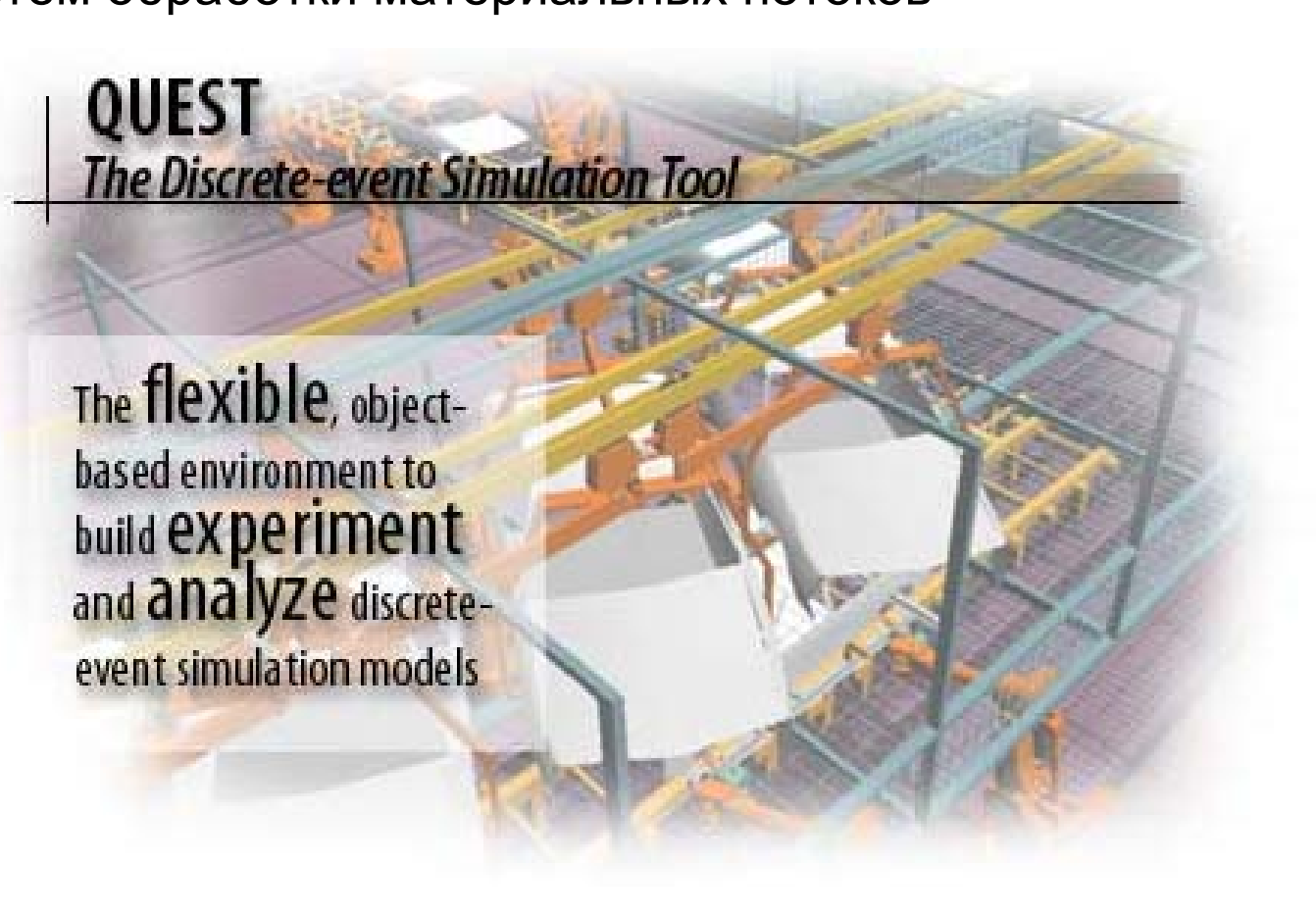
☐ Show Flash Animation (Fast Connection Recommended)

AutoMod Suite

AutoMod combines fast and accurate simulation with realistic graphics

<http://www.automod.de/cindex.php?site=automod.html>

Quest : предлагается фирмой Delmia; среда моделирования с графическим интерфейсом пользователя и модулями для систем обработки материальных потоков



QUEST

The Discrete-event Simulation Tool

The **flexible**, object-based environment to build **experiment** and **analyze** discrete-event simulation models

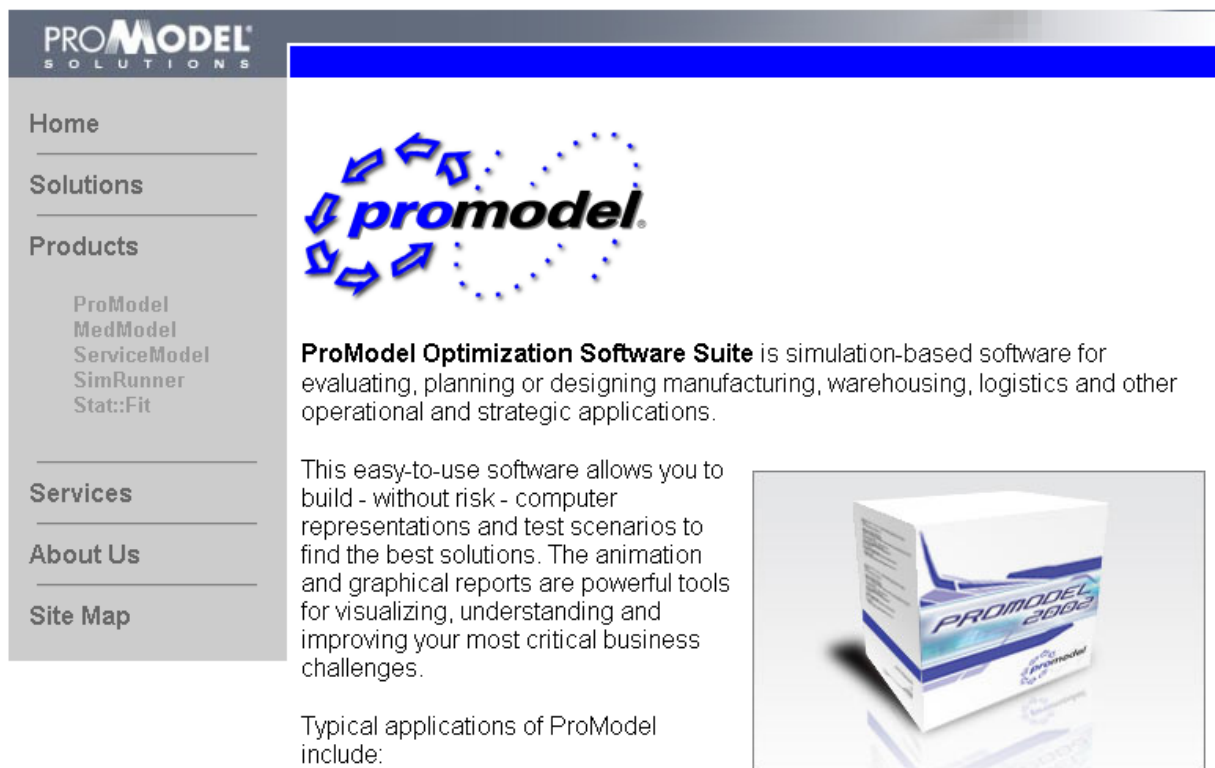
[http://www.delmia.de/
images/AwProdukte/AWquest.pdf](http://www.delmia.de/images/AwProdukte/AWquest.pdf)

eM-Plant (SIMPLE++): предлагается фирмой Tecnomatix;
основная ориентация – на производство и логистику

The image shows two screenshots related to the eM-Plant software. The left screenshot is the website for Tecnomatix Technologies Ltd. It features a blue header with the company logo and name. Below the header is a yellow sidebar with a navigation menu: Home (with a UK flag), Tecnomatix Info, Veröffentlichungen, Was ist eM-Plant?, eM-Plant Training, FH & Universität, Support, and Kontakt. The main content area has a large 'eM-Plant' logo and a text block stating: 'Tecnomatix is happy to announce a new generation of the only truly object oriented discrete event simulation solution in the market today: eM-Plant, powered by eMPower'. The right screenshot is a window of the eM-Plant software interface. It has a blue header with the Tecnomatix logo and 'Manufacturing Process Management' text. The main area displays 'eMPower' and a 3D model of a factory floor. To the right of the 3D model are several data visualizations: a bar chart, a pie chart, and a small 3D model of a person. The bottom of the window shows the 'eM-Plant' logo and 'Version 6.0'.

<http://www.emplant.com/>

ProModel: предлагается фирмой PROMODEL Corporation; основная ориентация – на производство и логистику; объединяет в себе элементы моделей и язык



PROMODEL SOLUTIONS

Home

Solutions

Products

- ProModel
- MedModel
- ServiceModel
- SimRunner
- Stat::Fit

Services

About Us

Site Map

promodel

ProModel Optimization Software Suite is simulation-based software for evaluating, planning or designing manufacturing, warehousing, logistics and other operational and strategic applications.

This easy-to-use software allows you to build - without risk - computer representations and test scenarios to find the best solutions. The animation and graphical reports are powerful tools for visualizing, understanding and improving your most critical business challenges.

Typical applications of ProModel include:

- **Manufacturing**
- **Logistics**
- **Business Reengineering**
- **Pharmaceuticals**



<http://www.promodel.com/products/promodel/default.asp>

Enterprise Dynamics (Taylor ED): предлагается фирмой F&H Simulations; моделирование основано на «атомах» (объектах)



[Home](#) [Events](#) [Subscribe](#) [Downloads](#) [Worldwide](#) [Contact](#) [E-mail](#)

Company
[Profile](#)
[Vacancies](#)
[Contact](#)

Newsletter
[Subscribe](#)
[Archive](#)

Products
[Enterprise Dynamics](#)
[E.D. Market Suites](#)
[E.D. Tools & Add-ons](#)
[Academic Program](#)

Services
[Consulting](#)
[Training](#)
[Support](#)

Login
[Support Site](#)
[As Customer](#)
[As Partner](#)
[As Employee](#)

ENTERPRISE DYNAMICS

Enterprise Dynamics® is a comprehensive analysis, communication, and decision support tool that meets today's standards for dynamic engineering. It helps analyze and predict the impact of business change in terms of performance, people and profits.

Enterprise Dynamics is also a strong communication tool that gives insight to business processes and to support implementation.

Enterprise Dynamics helps to avoid unnecessary risks by predicting the future performance of any business process.

Enterprise Dynamics is an object-oriented dynamic analysis and control system. The system consists of a powerful Enterprise Dynamics (E.D.)-Engine® and many building blocks grouped into E.D.-Suites®. An E.D.-Suite is configured for a specific field of expertise, to assist the modeling of a specific problem, branch or area. Animations can range from 2D flowcharts to true 3D Virtual Reality models that empower imagination and creativity. Building blocks can be easily created, customized and added into your personal E.D.-Suite. The creation or customization of E.D.-Suites has no technical limitations.

Enterprise Dynamics can be used as a stand-alone system, in a network, or in the intra- and internet environment.

Enterprise Dynamics uses open architecture, supporting major industry standards and can be easily connected or integrated with other software systems and components that you already use.

System Requirements

Visualization Demo



<http://www.enterprisedynamics.com/>

WITNESS: предлагается фирмой The Lanner Group; основная ориентация – производственные системы



Ensuring you make the right decision every time is no easy task. Simulation software **WITNESS** gives you the power to quickly model your working processes and simulate the implications of business change in a risk-free controlled environment. As a result, whatever the problem you can always be confident you have found the best solution for your organisation – before making any financial commitment to change.



Simulation Software enabling dynamic simulation modeling of business activities



Simulation Software leaders; **Lanner** market and develop the world's leading innovative and integrated Predictive Technologies for modeling, optimizing, analyzing and visualizing business and process change. Our **Witness simulation software** is the most advanced in its field, enabling dynamic simulation modeling of business activities and throughputs. our Optimization tools deliver the optimum choice to a plethora of potential solutions. Our Data Mining techniques identify patterns and trends conventional methods cannot find. Our 3D Business **Visualization** representation is enabled through the most advanced virtual reality tools, adapted for business. Our Consulting teams provide top level specialist consulting and change management services to help our customers achieve quantifiable improvement in their business performance.

Use WITNESS for all your Simulation needs



Benefits of WITNESS Simulation

Achieving real business benefits -

"...savings of \$8m through implementing a revised PCB layout..."

"...avoidance of \$2m



WITNESS - gives you the power to model your working environment and simulate the implications of different business decisions.

WITNESS, the worlds leading business simulation system, has been designed with the flexibility to model and understand any process, however complex. As a result it is a tool which is used worldwide to model all aspects of business, from the manufacture and distribution of products, through to the movement of data.

WITNESS 2002 - the latest release of **WITNESS**, the dynamic modeling and simulation product



<http://www.witness-for-simulation.com/>

AnyLogic: предлагается фирмой XJ Technologies, Санкт-Петербург

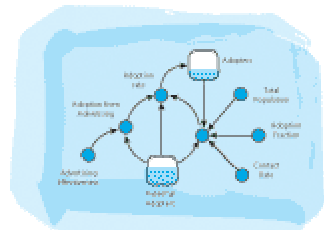


AnyLogic™ — инструмент имитационного моделирования нового поколения, основанный на результатах, полученных в теории моделирования и в информационных технологиях за последнее десятилетие.

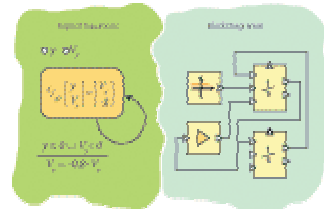
Поддерживая на единой платформе абсолютно все существующие подходы дискретно-событийного и непрерывного моделирования (блок-схемы процессов, системную динамику, агентное моделирование, карты состояний, системы уравнений и т.д.), AnyLogic™ снимает с Вас все ограничения – анализируйте проблему, выбирайте средства – и идите к решению кратчайшим путём!

<http://www.xjtek.ru/anylogic/>

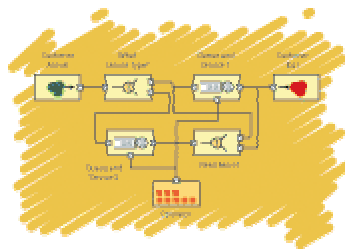
AnyLogic: особенности пакета



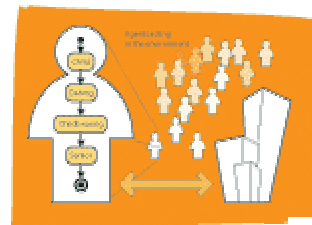
System Dynamics



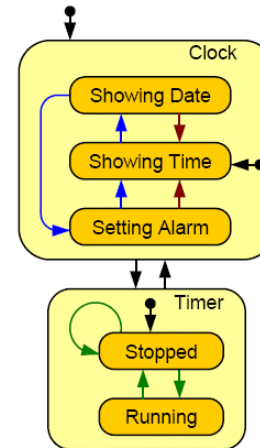
Dynamic Systems



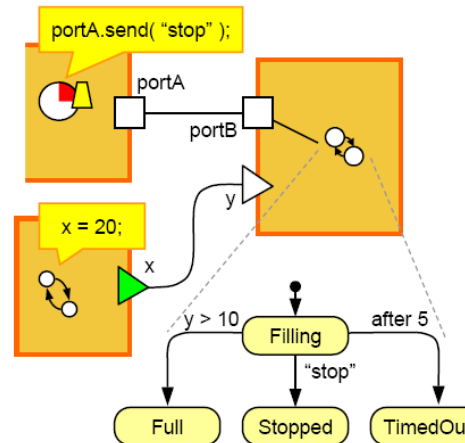
Discrete Event



Agent Based



- A way to specify active object behavior
- The ultimate construct to describe:
 - object states / modes of operation
 - response to the external or internal events and conditions
 - event- and time ordering of operations



- Signal event
 - Reaction on discrete signals sent to the statechart
- Change event
 - Activated when a Boolean condition becomes true
- Timeout event
 - Used to model timeouts and delays

3. Особенности моделирования логистических систем

Классификация работ по имитационному моделированию в зависимости от их назначения

учебное моделирование

исследовательское моделирование

профессиональное моделирование

индустриальное моделирование

Учебное моделирование

Учебное моделирование выполняется под руководством «учителя» (в учебном заведении, на курсах или просто в рабочей обстановке) или при самостоятельном знакомстве с методом и средством моделирования, т.е. с симулятором. Как правило, первые работающие модели процессов, «похожих на логистические», относятся к классу СМО. Такие модели можно создавать как на базе языков моделирования типа GPSS, так и на базе индустриальных симуляторов, таких, как Arena, AutoMod, eM-Plant, Enterprise Dynamics, Extend, ProModel, QUEST или WITNESS.

Исследовательское моделирование

Исследовательское моделирование чаще всего выполняется на кафедрах учебных заведений в рамках договорных или чисто исследовательских работ. При этом обычно оно является также частью дипломных работ и диссертаций. Характерным для таких работ является то, что постановку задачи (или даже новой проблемы) моделирования формулирует та же persona, которая будет непосредственно руководить выполнением работ по моделированию и затем оценивать результаты этих работ. Это значит, что, как и в случае учебного моделирования, отсутствует persona, исполняющая роль заказчика, от мнения которого зависит успех выполненных работ по моделированию.

Профессиональное моделирование

Профессиональное моделирование предполагает наличие персоны (заказчика) или даже целой команды, которая с большим пристрастием относится к результатам моделирования, так как обычно платит за это моделирование деньги в рамках соответствующих договорных отношений. Успех всего имитационного проекта зависит от того, насколько имитационщику удаётся оправдать ожидания заказчика в смысле полноты и точности результатов моделирования. Модели, как правило, не передаются заказчику, а просто демонстрируются в процессе презентации проекта, чаще всего, с применением анимации. Основные результаты моделирования передаются заказчику в виде обычного отчёта. Проект имеет характер «разовой кампании», и после её завершения созданные модели отправляют «в архив». По подобному сценарию очень часто проходят работы по моделированию, связанные с проектными или консалтиговыми работами. Заказчик не всегда интересуется применённым в проекте симулятором, но тип симулятора, как правило, указывается в тексте договора.

Индустриальное моделирование

Индустриальное моделирование предполагает обязательную передачу модели заказчику с расчётом на её систематическое применение. При этом производится программно-техническая интеграция модели на рабочем месте заказчика, т.е. её стыковка с источниками исходных данных и потребителями результатов моделирования. Модель может запускаться оператором (планировщиком, аналитиком и т.п.) по мере необходимости вручную, т.е. в режиме off line. Возможно также применение моделей в контуре оперативного управления объектами, когда запуск модели производится автоматически в режиме on line.

Формы выполнения работ по моделированию

1. Проводится имитационное исследование, при котором предусматривается передача заказчику только результатов имитационных экспериментов; заказчик при этом может вообще не знать, с помощью какого симулятора проводилось моделирование.
2. Заказчику передаётся готовая модель (или библиотека моделей) с расчётом на то, что он сам будет в дальнейшем планировать и проводить имитационные эксперименты; не предусматривается возможность, когда заказчик вносит изменения в саму модель; все возможные варианты моделирования определяются только варьированием исходными данными.
3. Заказчику передаётся «всё в полном комплекте», т.е. «имитационное исследование», «готовая модель», симулятор и вся «техника и технология» создания определенного класса моделей; составной частью имитационного проекта является обучение заказчика, в результате которого он должен научиться работать с симулятором и создавать модели хотя бы для определенного класса систем (иногда - на базе специально созданной для этих целей библиотеки модулей).

Понятие «эксперт в области имитационного моделирования»

Эксперты в области имитационного моделирования логистических систем :

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 не зависящими от конкретных симуляторов методами имитационного моделирования, в том числе, и математическими методами

владеют одним или несколькими симуляторами и языками программирования

знакомы с современными информационными технологиями, обеспечивающими интеграцию моделей в системах проектирования, планирования и управления

Проблемы моделирования логистических систем на базе концепции СМО

Основная концепция СМО:

ресурсы системы образуют некую статическую структуру, через которую пропускаются обрабатываемые динамические объекты (заявки)

Особенности логистических систем:

многие виды ресурсов являются мобильными объектами (например, средства транспортировки и перемещения грузов); в пределах одной модели в некоторых ситуациях эти объекты должны рассматриваться как «обслуживающие приборы», а в других – как «заявки на обслуживание»

связи в структуре часто связаны с транспортными операциями, которые характеризуются ресурсами и временем

ограниченное использование случайных факторов (доминируют заданные детерминированные планы и расписания)

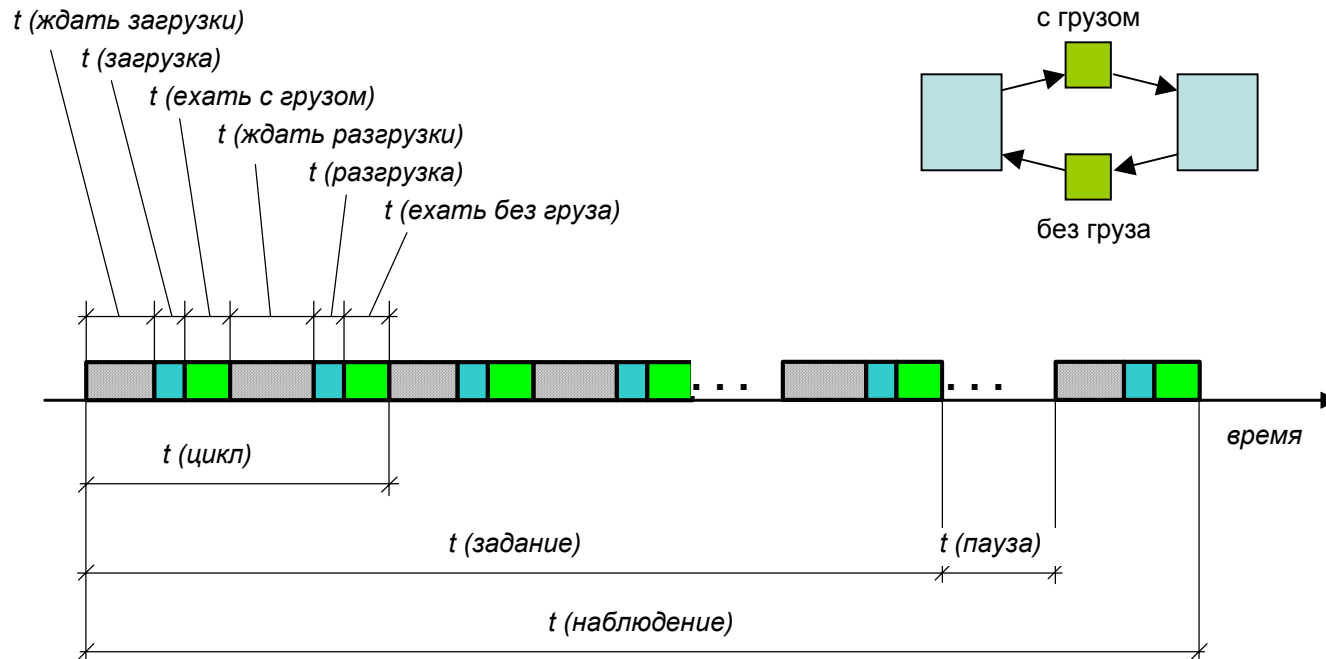
принципиальная нестационарность процессов (учёт графиков рабочих смен и календаря)

необходимость применения моделирования, «ориентированного на длину» (например, при моделировании конвейерных системы, систем на базе робокаров и т.п.)

Ограниченное применение стандартных результатов моделирования

В моделях реальных систем рассчитываемые симулятором стандартные статистические результаты часто вообще оказываются или бесполезными, или недостаточными для анализа работы моделируемой системы. Обычной является практика, при которой симуляционист 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 симуляционист, ни заказчик не интересуются «вычисленными» количественными показателями моделируемого процесса, а наблюдают графики развития во времени некоторых первичных показателей или переменных модели (например, длины очереди). Иногда процесс оценивается чисто качественно только лишь на основании наблюдения анимационной картины.

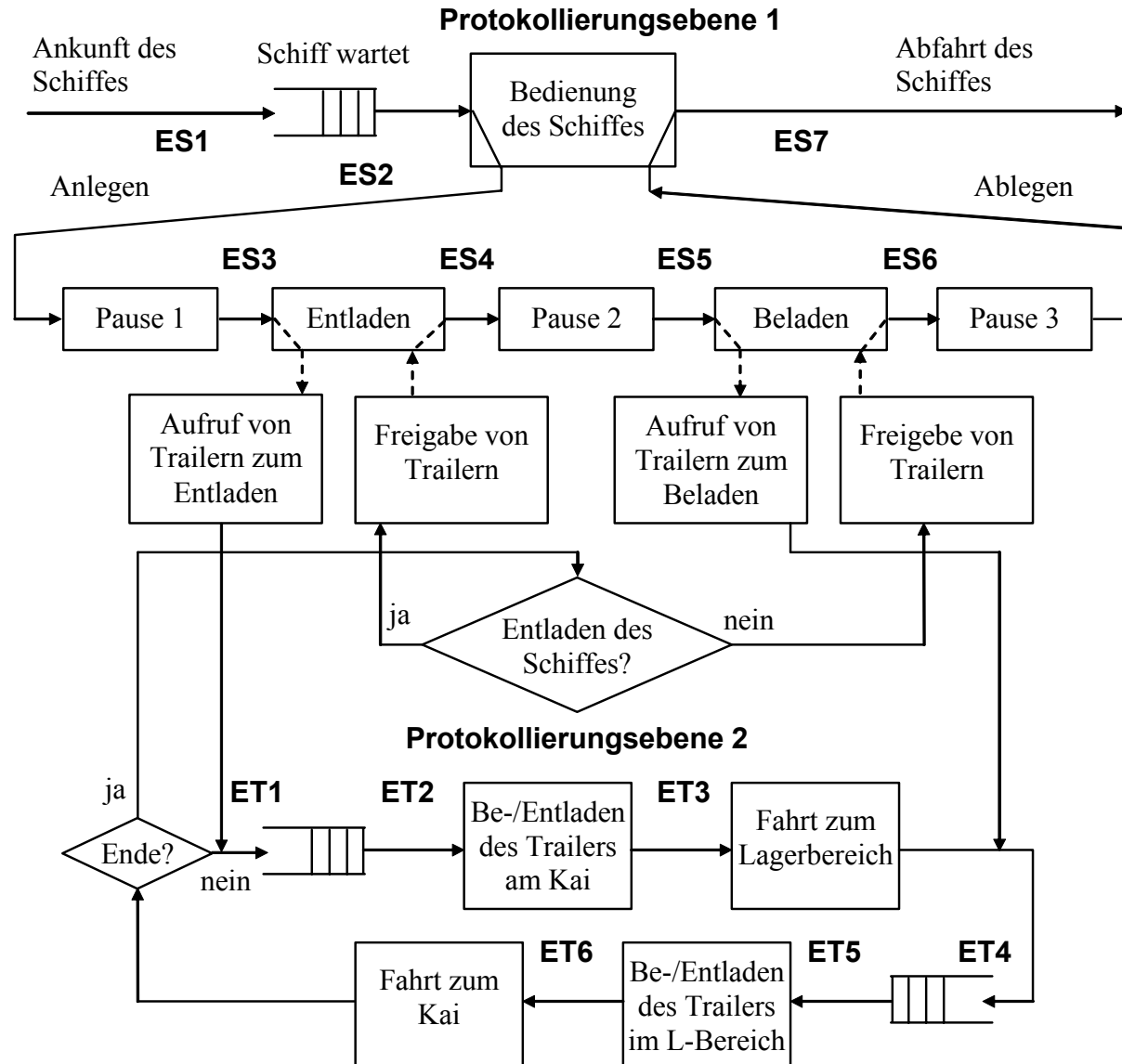
Два способа расчёта загрузки транспортного средства



$$K(\text{глоб}) = \frac{t(\text{наблюдение}) - \sum t(\text{пауза})}{t(\text{наблюдение})}$$

$$K(\text{лок}) = \frac{t(\text{задание}) - \sum t(\text{ждать_загрузки}) - \sum t(\text{ждать_разгрузки})}{t(\text{задание})}$$

Протоколирование событий на контейнерном терминале



Типы событий в подпроцессе «Обработка судна»

Bezeichnung für das Ereignis	Identifikator für den Ereignistyp im Ereignisprotokoll	Attribut des Ereignisses	Inhalt des Ereignisses
Protokollierungsebene 1			
ES1	arrival_at_port	kein	Das Schiff kommt in den Hafen an und wartet auf den Anlageplatz
ES2	processing_begin	kein	Das Schiff bekommt den Anlageplatz
ES3	import_begin	kein	Anfang des Entladens des Schiffes
ES4	import_end	kein	Ende des Entladens des Schiffes
ES5	export_begin	kein	Anfang des Beladens des Schiffes
ES6	export_end	kein	Ende des Beladens des Schiffes
ES7	processing_end	kein	Das Schiff macht den Anlageplatz frei
Protokollierungsebene 2			
ET1	arrival_at_ship	Kran-Nr.	Der Trailer wartet auf das Be-/Entladen auf dem Kai
ET2	processing_at_ship_begin	Kran-Nr.	Anfang des Be-/Entladens des Trailers auf dem Kai
ET3	trip_to_yard_begin	Lagerbereich-Nr.	Anfang der Fahrt des Trailers zum Lagerbereich
ET4	arrival_at_yard	Lagerbereich-Nr.	Der Trailer wartet auf das Be-/Entladen im Lagerbereich
ET5	processing_at_yard_begin	Lagerbereich-Nr.	Anfang des Be-/Entladens des Trailers im Lagerbereich
ET6	trip_to_ship_begin	Kran-Nr.	Anfang der Fahrt des Trailers zum Kai

Формула, основанная на данных протокола событий

$$K(trailer) = \frac{\sum_{i=1}^N \left\{ \sum_{j=1}^{m_i} [t_{i,j}(ET4) - t_{i,j}(ET2)] + \sum_{k=1}^{n_i} [t_{i,k}(ET1) - t_{i,k}(ET5)] \right\}}{N[t(ES4) - t(ES3)]}$$

- K - коэффициент загрузки группы трейлеров
 N - количество трейлеров в группе
 i - номер трейлера
 j - номер поездки к складу
 k - номер поездки к причалу
 m_i - количество поездок трейлера i к складу
 n_i - количество поездок трейлера i к причалу
 $t_{ij}(E)$ - момент свершения события E , которое происходит с трейлером i во время поездки j

Спасибо за внимание!

Посетите www.gpss.ru !