Перечень сокращений

ИМ – Имитационное Моделирование

СДС – Сложная Дискретная Система

IDE - Integrated Development Environment (Интегрированная Среда Разработки)

**Терминология**

Плагин – независимо компилируемый программный модуль, динамически подключаемый к основной программе и предназначенный для расширения и/или использования её возможностей

График – диаграмма, изображающая при помощи кривых количественные показатели развития, состояния модели

Подсистема визуализации – подсистема среды RAO-XT, отвечающая за построение графиков изменения состояния модели

Парсинг – процесс анализа последовательности входных данных и преобразование их в необходимых формат

Парсер – компонент, выполняющий парсинг данных

Сериализация – процесс перевода какой-либо структуры данных в последовательность битов

Слайдер – элемент графического интерфейса, позволяющий отображать область окна, соответствующую его положению

# Введение

Имитационное моделирование (ИМ)[1] на ЭВМ находит широкое применение при исследовании и управлении сложными дискретными системами (СДС) и процессами, в них протекающими. К таким системам можно отнести экономические и производственные объекты, морские порты, аэропорты, комплексы перекачки нефти и газа, ирригационные системы, программное обеспечение сложных систем управления, вычислительные сети и многие другие. Широкое использование ИМ объясняется тем, что размерность решаемых задач и неформализуемость сложных систем не позволяют использовать строгие методы оптимизации. Эти классы задач определяются тем, что при их решении необходимо одновременно учитывать факторы неопределенности, динамическую взаимную обусловленность текущих решений и последующих событий, комплексную взаимозависимость между управляемыми переменными исследуемой системы, а часто и строго дискретную и четко определенную последовательность интервалов времени. Указанные особенности свойственны всем сложным системам.

Проведение имитационного эксперимента позволяет:

1. Сделать выводы о поведении СДС и ее особенностях:

* без ее построения, если это проектируемая система
* без вмешательства в ее функционирование, если это действующая система, проведение экспериментов над которой или слишком дорого, или небезопасно
* без ее разрушения, если цель эксперимента состоит в определении пределов воздействия на систему

1. Синтезировать и исследовать стратегии управления.
2. Прогнозировать и планировать функционирование системы в будущем.
3. Обучать и тренировать управленческий персонал и т.д.

ИМ является эффективным, но и не лишенным недостатков, методом. Трудности использования ИМ, связаны с обеспечением адекватности описания системы, интерпретацией результатов, обеспечением стохастической сходимости процесса моделирования, решением проблемы размерности и т.п. К проблемам применения ИМ следует отнести также и большую трудоемкость данного метода.

Интеллектуальное ИМ, характеризующиеся возможностью использования методов искусственного интеллекта и прежде всего знаний, при принятии решений в процессе имитации, при управлении имитационным экспериментом, при реализации интерфейса пользователя, создании информационных банков ИМ, использовании нечетких данных, снимает часть проблем использования ИМ.

# Предпроектное исследование

## Основные положения языка РДО[2]

Основные положения системы РДО могут быть сформулированы следующим образом[1]:

* Все элементы СДС представлены как ресурсы, описываемые некоторыми параметрами. Ресурсы могут быть разбиты на несколько типов; каждый ресурс определенного типа описывается одними и теми же параметрами.
* Состояние ресурса определяется вектором значений всех его параметров; состояние СДС - значением всех параметров всех ресурсов.
* Процесс, протекающий в СДС, описывается как последовательность целенаправленных действий и нерегулярных событий, изменяющих определенным образом состояние ресурсов; действия ограничены во времени двумя событиями: событиями начала и событиями конца.
* Нерегулярные события описывают изменения состояния СДС, непредсказуемые в рамках продукционной модели системы (влияние внешних по отоношению к СДС факторов либо факторов, внутренних по отношению к ресурсам СДС). Моменты наступления нерегулярных событий случайны.
* Действия описываются операциями, которые представляют собой модифицированные продукционные правила, учитывающие временные связи. Операция описывает предусловия, которым должно удовлетворять состояние участвующих в операции ресурсов, и правила изменения состояния ресурсов в начале и в конце соответствующего действия.
* Множество ресурсов R и множество операций O образуют модель СДС.

## Система имитационного моделирования RAO-studio[2]

Программный комплекс RAO-studio предназначен для разработки и отладки имитационных моделей на языке РДО. Основные цели данного комплекса - обеспечение пользователя легким в обращении, но достаточно мощным средством разработки текстов моделей на языке РДО, обладающим большинством функций по работе с текстами программ, характерных для сред программирования, а также средствами проведения и обработки результатов имитационных экспериментов.

В соответствии с основной целью программный комплекс решает следующие задачи:

* синтаксический разбор текста модели и настраиваемая подсветка синтаксических конструкций языка РДО
* открытие и сохранение моделей
* расширенные возможности для редактирования текстов моделей
* автоматическое завершение ключевых слов языка
* поиск и замена фрагментов текста внутри одного модуля модели
* поиск интересующего фрагмента текста по всей модели
* навигация по тексту моделей с помощью закладок
* наличие нескольких буферов обмена для хранения фрагментов текста
* вставка синтаксических конструкций языка и заготовок (шаблонов) для написания элементов модели
* настройка отображения текста моделей, в т.ч. скрытие фрагментов текста и масштабирование
* запуск и остановка процесса моделирования
* изменение режима моделирования
* изменение скорости работающей модели
* переключение между кадрами анимации в процессе моделирования
* отображение хода работы модели в режиме реального времени
* построение графиков изменения интересующих разработчика характеристик в режиме реального времени
* обработка синтаксических ошибок при запуске процесса моделирования
* обработка ошибок во время выполнения модели
* обеспечение пользователя справочной информацией

Программный комплекс состоит из двух частей:

* среды разработки (файл RAO-studio.exe под Windows и RAO-studio под Linux)
* файлов справок (rdo\_lang\_rus.qch - справка по языку РДО, rdo\_studio\_rus.qch - справка по программному комплексу, RAO-help.qhc - объединяет два последних для справочной системы)

## Графики в системе имитационного моделирования RAO-studio[2]

Имеется возможность визуально отображать процессы, происходящие в модели, в виде графиков. Добавление графиков состояния ресурса становится возможным только после запуска модели. Графики состояния ресурса можно добавлять как в процессе работы модели в режиме анимации, так и после завершения моделирования. График состояния ресурса может быть отображен только в том случае, если конкретный ресурс трассируется.  
Для добавления графика во вкладке Графики окна объектов в дереве модели следует найти необходимый вам параметр ресурса. Далее, чтобы создать новое окно графика, нужно щелкнуть два раза по выбранному параметру ресурса левой кнопкой мыши или один раз правой и в выпадающем меню выбрать команду Добавить на новый график. По оси абсцисс графика откладывается время наступления событий, при которых изменяется значение параметра выбранного ресурса.

При первом построении графика, масштаб по оси ординат устанавливается автоматически. Для изменения масштаба по оси абсцисс можно воспользоваться панелью инструментов Масштаб или использовать выпадающее меню при правом щелчке мышки по области графика. Основными функциями масштабирования являются:

* Увеличить масштаб – увеличение масштаба
* Уменьшить масштаб – уменьшение масштаба
* Автоматический масштаб – автоматический подбор масштаба по ширине области графика
* Восстановить масштаб – восстановление начального масштаба

Имеется возможность добавлять на уже существующий график другие. Для этого необходимо мышкой перетащить имя параметра ресурса на область уже построенного графика.

## Система имитационного моделирования RAO-XT

Система имитационного моделирования RAO-XT представляет собой плагин для интегрированной среды разработки Eclipse, позволяющий вести разработку имитационных моделей на языке РДО. Система написана на языке Java[3] и состоит из трех основных компонентов:

* rdo – компонент, производящий преобразование кода на языке РДО в код на языке Java
* rdo.lib – библиотека системы. Этот компонент реализует ядро системы имитационного моделирования
* rdo.ui – компонент, реализующий графический интерфейс системы с помощью библиотеки SWT[4]

На момент начала выполнения курсового проекта, система не имела возможности строить графики.

# Формирование ТЗ

## Введение

Программный комплекс RAO-XT предназначен для разработки и отладки имитационных моделей на языке РДО. Основные цели данного комплекса - обеспечение пользователя легким в обращении, но достаточно мощным средством разработки текстов моделей на языке РДО, обладающим большинством функций по работе с текстами программ, характерных для сред программирования, а также средствами проведения и обработки результатов имитационных экспериментов.

При проведении имитационных экспериментов необходимо иметь возможность следить за изменениями состояния модели. Одним из предпочтительных способов визуализации изменений является построение графиков по параметрам модели.

## Общие сведения

Основание для разработки: задание на курсовой проект.

Заказчик: Кафедра «Компьютерные системы автоматизации производства» МГТУ им. Н.Э. Баумана

Разработчик: студент кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства» Зудина О.В.

Наименование темы разработки: «Разработка подсистемы визуализации параметров модели для системы имитационного моделирования RAO-XT»

## Назначение разработки

Разработать подсистему визуализации параметров модели для системы имитационного моделирования RAO-XT.

## Требования к программе или программному изделию

### Требования к функциональным характеристикам

Подсистема визуализации должна удовлетворять следующим требованиям:

* Построение по различным параметрам модели:
  + по параметрам ресурсов
  + выполняемым образцам
  + результатам
* Построение графиков в процессе прогона
* Построение ступенчатых графиков
* Построение по различным типам данных
  + *integer*
  + *real*
  + *enum*
* Масштабирование
* Независимость от модуля трассировки

### Требования к надежности

Основное требование к надежности направлено на поддержание в исправном и работоспособном состоянии ЭВМ, на которой происходит использование программного комплекса RAO-XT.

### Условия эксплуатации

* Эксплуатация должна производиться на оборудовании, отвечающем требованиями к составу и параметрам технических средств, и с применением программных средств, отвечающим требованиям к программной совместимости
* Аппаратные средства должны эксплуатироваться в помещениях с выделенной розеточной электросетью 220В ±10%, 50 Гц с защитным заземлением

### Требования к составу и параметрам технических средств

Программный продукт должен работать на компьютерах со следующими характеристиками:

* объем ОЗУ не менее 2 Гб
* объем жесткого диска не менее 50 Гб
* микропроцессор с тактовой частотой не менее 2ГГц
* монитор с разрешением от 1366\*768 и выше

### Требования к информационной и программной совместимости

Система должна работать под управлением следующих ОС: Windows 7, Ubuntu 14.10.

### Требования к маркировке и упаковке

Требования к маркировке и упаковке не предъявляются.

### Требования к транспортированию и хранению

Требования к транспортированию и хранению не предъявляются.

## Требования к программной документации

Требования к программной документации не предъявляются.

## Стадии и этапы разработки

Плановый срок начала разработки – 7 февраля 2015г.

Плановый срок окончания разработки – 25 мая 2015г.

Этапы разработки:

* Концептуальный этап проектирования системы
* Технический этап проектирования системы
* Рабочий этап проектирования системы

## Порядок контроля и приемки

Контроль и приемка работоспособности системы осуществляются с помощью ручного тестирования подсистемы визуализации.

# Концептуальный этап проектирования подсистемы

На концептуальном этапе проектирования требовалось:

* подобрать графическую библиотеку, удовлетворяющую требованиям
* разработать пользовательский интерфейс вызова подсистемы визуализации из среды RAO-XT
* обеспечить возможность построения графиков по определённым параметрам модели

## Графическая библиотека

### Выбор графической библиотеки

Были рассмотрены следующие графические библиотеки:

* JavaFX
* JFreeChart
* JGraphX
* SWTChart

Таблица 4.1. Сравнение графических библиотек

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | JavaFX | JFreeChart | JGraphX | SWTChart |
| Совместимость с Java 8 | - | + | + | + |
| Встраивание в среду разработки Eclipse | + | + | - | + |
| Построение графиков в "реальном времени" | + | + | - | - |
| Прореживание данных | + | + | + | + |
| Масштабирование | + | + | + | + |
| Работа с большими объёмами данных | + | + | + | + |
| Отображение нескольких графиков в одном окне | + | + | - | + |

По результатам сравнения была выбрана графическая библиотека JFreeChart.

### Выбор оболочки для графической библиотеки

Графическая библиотека JFreeChart имеет возможность использования с различными оболочками:

* SWT[4]
* AWT[5]
* Bridge

Ниже представлены результаты измерений быстродействия JFreeChart с различными оболочками на различных операционных системах. Данные представлены в секундах.

Таблица 4.2. Измерение быстродействия без прореживания данных

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Количество точек графика** | **Оболочка** | **Операционная система** | | | | | |
| **Ubuntu 14.10** | | | **Windows 7** | | |
| 1000000 | SWT | 28.33 | 27.80 | 27.54 | 41.95 | 41.04 | 42.64 |
| AWT | 9.54 | 8.79 | 8.89 | 11.03 | 11.25 | 11.16 |
| Bridge | 7.78 | 8.18 | 8.67 | 5.93 | 8.73 | 7.66 |
| 2000000 | SWT | 55.86 | 58.42 | 55.00 | x | x | x |
| AWT | 19.79 | 19.61 | 19.56 | 22.84 | 23.46 | 23.43 |
| Bridge | 15.47 | 15.15 | 14.91 | 13.49 | 16.08 | 18.06 |
| 2500000 | SWT | 67.31 | 70.08 | 69.45 | - | - | - |
| AWT | 24.85 | 24.99 | 25.09 | - | - | - |
| Bridge | 25.41 | 20.93 | 19.72 | - | - | - |
| 3000000 | SWT | 79.30 | 84.24 | 83.49 | - | - | - |
| AWT | 30.71 | 30.48 | 30.20 | - | - | - |
| Bridge | 22.51 | 22.90 | 22.37 | - | - | - |
| 3500000 | SWT | 88.89 | 85.03 | 89.96 | - | - | - |
| AWT | 34.47 | 34.55 | 34.66 | - | - | - |
| Bridge | 24.85 | 24.62 | 27.40 | - | - | - |
| 5000000 | SWT | x | x | x | - | - | - |
| AWT | х | х | х | - | - | - |
| Bridge | 318.85 | 159.09 | 164.86 | - | - | - |

Таблица 4.3. Измерение быстродействия с прореживанием данных

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Количество точек графика** | **Оболочка** | **Операционная система** | | | | | |
| **Ubuntu 14.10** | | | **Windows 7** | | |
| 1000000 | SWT | 2.45 | 2.50 | 2.45 | 2.99 | 2.97 | 3.16 |
| AWT | 2.43 | 2.44 | 2.45 | 2.73 | 2.70 | 2.75 |
| Bridge | 2.12 | 2.17 | 2.15 | 3.33 | 3.54 | 3.40 |
| 2000000 | SWT | 4.17 | 4.03 | 4.13 | 5.27 | 5.03 | 5.35 |
| AWT | 4.24 | 4.02 | 4.08 | 4.65 | 4.63 | 4.65 |
| Bridge | 4.29 | 4.02 | 4.19 | 5.40 | 5.38 | 5.43 |
| 5000000 | SWT | 5.83 | 5.93 | 5.90 | 7.21 | 6.96 | 7.18 |
| AWT | 5.98 | 5.89 | 6.04 | 6.65 | 10.45 | 6.66 |
| Bridge | 8.76 | 8.76 | 8.78 | 7.42 | 7.29 | 7.28 |
| 10000000 | SWT | 21.30 | 22.03 | 21.69 | 20.70 | 26.69 | 24.64 |
| AWT | 21.27 | 21.17 | 21.26 | 24.49 | 23.21 | 25.48 |
| Bridge | 21.46 | 21.18 | 20.72 | 25.62 | 24.77 | 25.77 |

Результаты измерений показали, что ни одна из оболочек не обеспечивает значительного преимущества по быстродействию по сравнению с остальными. В связи с этим была выбрана оболочка SWT, позволяющая обеспечить наиболее тесную интеграцию со средой разработки Eclipse.

## Пользовательский интерфейс вызова подсистемы визуализации

Был разработан пользовательский интерфейс вызова подсистемы визуализации из среды RAO-XT. Вызов подсистемы производится с использованием дерева сериализованных объектов. В дереве перечислены все параметры модели, о которых есть записи в базе данных. При клике правой кнопкой мыши по выбранному элементу дерева происходит вызов выпадающего меню. В зависимости от типа параметра модели происходит вывод активного или неактивного меню построения графика.

## Построение графиков по определённым параметрам модели

Были определены параметры модели, по которым необходимо построение графиков:

* параметры ресурсов типов:
  + *integer*
  + *real*
  + *enum*
* результаты типов:
  + *watch\_par*
  + *watch\_state*
  + *watch\_quant*
  + *watch\_value*
* образцы типа *operation* – график строится по количеству одновременно запущенных образцов

# Технический этап проектирования подсистемы

## Построение графика по сериализованным данным

Библиотечная часть подсистемы визуализации, основным компонентом которой является класс парсера (*PlotDataParser*), взаимодействует непосредственно с содержимым базы данных и создает массив точек графика.

В качестве входных данных парсер имеет элемент дерева сериализованных объектов и содержимое базы данных. В элементе дерева хранятся номера записей в базе данных, которые соответствуют параметру, график которого должен быть построен. Зная правила сериализации данных, парсер считывает нужное количество байт из записи, преобразовывает их в переменную требуемого типа, подготавливает координаты точки и создает массив на основе считанных данных.

### Получение данных графика параметра ресурса

Парсер находит запись ресурса, которому принадлежит данный параметр. Формат бинарной сериализации позволяет получить значения любого параметра без необходимости парсить всю запись целиком. В элементе дерева хранится смещение, в соответствии с которым расположено значение данного параметра, и число байт, которое данный параметр занимает. Это происходит в методе *parseResourceParameter()*.

### Получение данных графика результата

В методе *parseResult()* парсер считывает только значение результата без необходимости парсить всю запись целиком.

### Получение данных графика образца

В методе *parsePattern()* заводится счётчик одновременно запущенных операций. Парсер считывает только тип записи и в зависимости от типа изменяет значение счётчика. Для записей начала операции (*operation\_begin*) счётчик увеличивается на единицу, для записей окончания операции (*operation\_end*) – уменьшается на единицу.

## Построение графика в процессе прогона

Для обновления в процессе прогона используется таймер. Каждый раз при срабатывании таймера для каждого открытого графика проверяется наличие в базе данных новых записей. Если появились новые записи, то происходит вызов метода *UpdateAllOpenedCharts()*. Парсер считывает только новые записи для соответствующего параметра, для чего хранится номер последней считанной записи.

## Построение графика данных перечислимого типа

В графической части подсистемы визуализации вызывается метод *getEnumNames()* библиотечной части подсистемы. Если данные, по которым строится график, имеют тип *enum*, то имена значений сохраняются в массив. На основе массива в методе *createChart()* графической части подсистемы назначается тип вертикальной оси графика, значениями шкалы которой являются имена.

## Масштабирование и навигация по графику

### Масштабирование графика

Изменение масштаба по горизонтальной оси производится при выделении требуемой области графика слева направо.

Изменение масштаба по вертикальной и горизонтальной осям производится при одновременной нажатии клавиши Shift и выделении требуемой области графика слева направо.

Для отображения графика целиком необходимо выделить любую область графика справа налево.

### Навигация по графику

Навигация по графику происходит с помощью вертикального и горизонтального слайдеров.

Размеры и положение слайдеров зависят от масштабирования, поэтому при каждом изменении масштаба графика необходимо переопределять данные характеристики слайдеров. Это выполняется в методах *setSliders()* и *setSlidersMaximum()* в графической части подсистемы визуализации.

## Жизненный цикл окна графика

### Создание окна

При построении нового графика создается объект *RDOPlotView*, идентификационный номер которого вместе с информацией о параметре сохраняется в контейнер *openedPlotMap* типа Map[6].

При попытке построить график проверяется наличие информации об этом графике в контейнере *openedPlotMap*. Если информация найдена, то объект *RDOPlotView* не создается, а уже созданное соответствующее окно становится активным.

### Закрытие окна

При закрытии окна графика информация о нём удаляется из контейнера *openedPlotMap*. Также удаляется информация о последней построенной точке графика.

При закрытии среды RAO-XT закрываются все открытые окна графиков.

# Рабочий этап проектирования подсистемы