

Содержание

Перечень сокращений.....	4
Терминология.....	4
1. Введение.....	5
2. Предпроектное исследование	7
2.1. Основные положения языка РДО	7
2.2. Поиск решения на графе пространства состояний	7
2.3. Программный комплекс RAO-ХТ	9
2.4. Постановка задачи	9
3. Формирование ТЗ.....	11
3.1. Общие сведения.....	11
3.2. Назначение разработки.....	11
3.3. Требование к программе или программному изделию	11
3.3.1. Требования к функциональным характеристикам.....	11
3.3.2. Требования к надежности	11
3.3.3. Условия эксплуатации	11
3.3.4. Требование к составу и параметрам технических средств	12
3.3.5. Требование к информационной и программной совместимости.....	12
3.3.6. Требование к маркировке и упаковке.....	12
3.3.7. Требование к транспортированию и хранению	12
3.4. Требования к программной документации	12
3.5. Стадии и этапы разработки	12
3.6. Порядок контроля и приемки	13
4. Концептуальный этап проектирования системы	14
4.1. Структура подсистемы визуализации	14
4.2. Функционал зуммирования	15
4.2.1. Описание общей концепции зуммирования.....	15
4.2.2. Характерные размеры вершин	15
4.3. Работа в системе относительных координат.....	16
4.4. Вызов окна интерфейса подсистемы	18
4.4.1. Существующая реализация вызова	18
4.4.2. Независимый вызов подсистемы визуализации.....	18
4.5. Критерии оценки возможностей подсистемы визуализации	18
5. Технический этап проектирования	19

5.1. Проектирование библиотечной части подсистемы визуализации.....	19
5.2. Проектирование графической части подсистемы визуализации.....	19
6. Рабочий этап проектирования	20
7. Апробирование разработанной подсистемы в модельных условиях.....	21
7.1. Методика тестирования	21
7.2. Результаты тестирования	21
8. Заключение	22
Список использованных источников.....	23
Список использованного программного обеспечения	23
Приложение А. Исходный код модели, использованной для тестирования модуля	24

Перечень сокращений

ИМ – Имитационное Моделирование

СДС – Сложная Дискретная Система

IDE – Integrated Development Environment (Интегрированная Среда Разработки)

GUI – Graphic User Interface (Графический Интерфейс Пользователя)

Терминология

Зуммирование – увеличение/уменьшение размеров отображаемого на экране объекта.

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

Сериализация — процесс перевода какой-либо структуры данных в последовательность битов.

Слушатель — механизм, позволяющий экземпляру какого-либо класса получать оповещения от других объектов об изменении их состояния и задавать алгоритм реакции системы на это изменение.

Трассировка — получение информационных сообщений о работе приложения во время выполнения.

DPI – Dots per Inch, количество точек на дюйм. Характеристика разрешающей способности экрана или какого-либо физического носителя графической информации, означает количество пикселей на квадратный дюйм плоской поверхности.

1. 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.
2. Синтезировать и исследовать стратегии управления.
3. Прогнозировать и планировать функционирование системы в будущем.
4. 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.

Разработка интеллектуальной среды имитационного моделирования РДО выполнена в Московском государственном техническом университете (МГТУ им. Н. Э. Баумана) на кафедре "Компьютерные системы автоматизации производства". Причинами ее проведения и создания РДО явились требования универсальности ИМ относительно классов моделируемых систем и процессов, легкости модификации моделей,

моделирования сложных систем управления совместно с управляемым объектом (включая использование ИМ в управлении в реальном масштабе времени) и ряд других, сформировавшихся у разработчиков при выполнении работ, связанных с системным анализом и организационным управлением сложными системами различной природы.

2. Предпроектное исследование

2.1. Основные положения языка РДО

Основные положения системы РДО могут быть сформулированы следующим образом^[3]:

- 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 отношению 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.

2.2. Поиск решения на графе пространства состояний

В языке имитационного моделирования РДО помимо возможности использования для описания законов управления формализмов продукционных правил введены так называемые точки принятия решений, позволяющие осуществлять оптимальное управление^[2].

Механизм точек принятия решений в языке имитационного моделирования РДО позволяет гибко сочетать имитацию с оптимизацией. Для этого используется поиск на графе состояний.

Примерами задач, которые решаются с использованием точек принятия решений, могут служить:

- Различные транспортные задачи (например, выбор последовательности объезда пунктов транспортным средством при минимуме пройденного пути, времени или стоимости).
- Задачи укладки грузов при минимизации занимаемого ими объема (в более общем случае – задачи размещения).
- Нахождение решения логических задач за минимальное число ходов (например, расстановка фишек в игре «Пятнашки»).

- Задачи теории расписаний (например, задачи определения последовательности обработки различных деталей на станках при минимизации времени обработки, либо обслуживания клиентов с минимумом отклонений от запланированного времени изготовления заказов и т. д.).

Граф — основной объект изучения математической теории графов, совокупность непустого множества вершин и наборов пар вершин (связей между вершинами).

Граф $G = (S, E)$ задается двумя множествами:

- $S = \{s_i\}$ — множество вершин графа. Каждой вершине s_i ставится в соответствие состояние системы (база данных);
- $E = \{e_{ij}(s_i, s_j : s_i \in S, s_j \in S)\}$ — множество дуг. Каждой дуге e_{ij} , принадлежащей E и соединяющей пару вершин, ставится в соответствие правило преобразования (продукционное правило). Если дуга направлена от вершины s_i к вершине s_j , то s_i в данном случае будет являться вершиной-родителем, а s_j — вершиной-потомком (преемником).

Маршрутом в графе называют конечную последовательность вершин, в которой каждая вершина (кроме последней) соединена со следующей в последовательности вершиной ребром.

Цепью называется маршрут без повторяющихся рёбер.

Циклом называют цепь, в которой первая и последняя вершины совпадают.

Граф называется связным, если для любых вершин u, v существует путь из u в v .

Граф называется деревом, если он связный и не содержит нетривиальных циклов.

В графах, представляющих интерес для поиска, у каждой вершины должно быть конечное число вершин-преемников. С дугой может быть связана некоторая величина c_{ij} — стоимость дуги, она отражает затраты (в смысле заданного критерия оптимизации) применения соответствующего правила.

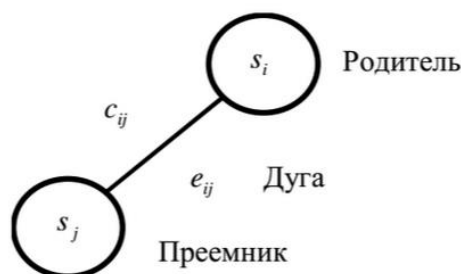


Рис. 1. Простейший граф состояний

В графе имеются две особые вершины:

- s_0 – начальная вершина, или другими словами, вершина, представляющая собой исходную базу данных;
- s_t – целевая вершина, иначе – вершина, представляющая собой базу данных, удовлетворяющую терминальному условию поиска. Таких вершин может быть не одна, а множество, и такое множество будет называться целевым множеством.

Путь в графе – последовательность вершин, в которой каждая последующая является преемником:

$$m = \{s_n, s_{n+1}, s_{n+2}, \dots, s_{n+k}\},$$

где $k + 1$ – длина пути.

Каждому пути m ставится в соответствие его стоимость, которая равна сумме стоимостей применения правил по всему пути на графе $G^{[2]}$.

2.3. Программный комплекс RAO-ХТ

Программный комплекс RAO-ХТ 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.

Система имитационного моделирования RAO-ХТ представляет собой плагин для интегрированной среды разработки Eclipse – свободной интегрированной среды разработки модульных кроссплатформенных приложений. Система написана на языке Java 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.

На момент начала выполнения курсового проекта, система не имела возможности выводить на экран пользователя граф пространства состояний для моделей, содержащих точки принятия решений. Вывод информации о поиске осуществлялся в текстовом формате в графическом окне модуля трассировки.

2.4. Постановка задачи

Проектирование любой системы начинается с выявления проблемы, для которой она создается. Под проблемой понимается несовпадение характеристик состояния систем, существующей и желаемой.

В результате предпроектного исследования в процессе курсового проектирования в прошлом семестре было выявлено отсутствие в программном комплексе RAO-XT подсистемы графической визуализации поиска решения на графе пространства состояний.

Разработка и последующее внедрение такой подсистемы на этапе опытной эксплуатации позволила расширить функционал среды RAO-XT и повысить эффективность процесса моделирования.

Задачей этого семестра стало расширение функционала подсистемы и ее интеграция до уровня продуктового решения.

3. Формирование ТЗ

3.1. 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» Стрижов К. А.

Наименование темы разработки: «Проектирование модуля визуализации поиска решения на графе состояний в РДО»

3.2. Назначение разработки

Разработать подсистему визуализации поиска решений на графе состояний и добиться ее интеграции в систему моделирования RAO-ХТ.

3.3. Требование к программе или программному изделию

3.3.1. Требования к функциональным характеристикам

Модуль визуализации должен реализовывать следующий функционал:

- Возможность построения и отображения графа «на лету», в течение процесса моделирования;
- Функции зуммирования:
 - возможность вписать граф по ширине в экранную форму интерфейса;
 - возможность масштабирования графа при прокрутке колеса мыши;
- Возможность использования относительной системы координат;
- Возможность вызова интерфейса модуля по клику на вершину дерева трассируемых объектов.

3.3.2. Требования к надежности

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

Сохранение работоспособности системы при отказе по любым причинам подсистемы или ее части.

3.3.3. 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 $\pm 10\%$, 50 Гц с защитным заземлением.

3.3.4. Требование 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 1ГГц;
- монитор с разрешением от 1280*1024 и выше.

3.3.5. Требование к информационной и программной совместимости

Система должна работать под управлением следующих ОС:

- Windows 7, 8;
- Ubuntu 14.10.

3.3.6. Требование к маркировке и упаковке

Требования к маркировке и упаковке не предъявляются.

3.3.7. Требование к транспортированию и хранению

Требования к транспортированию и хранению не предъявляются.

3.4. Требования к программной документации

Требования к программной документации не предъявляются.

3.5. Стадии и этапы разработки

Разработка должна быть проведена в три стадии:

- техническое задание
- технический и рабочий проекты
- внедрение

На стадии «Техническое задание» должен быть выполнен этап разработки и согласования настоящего технического задания.

На стадии «Технический и рабочий проект» должны быть выполнены перечисленные ниже этапы работ:

- разработка программы
- разработка методики тестирования
- испытания программы

На стадии «Внедрение» должен быть выполнен этап разработки «Подготовка и передача программы».

3.6. Порядок контроля и приемки

Контроль и приемка работоспособности системы осуществляются с помощью следующих методов:

- Опрос экспертов. Используется для оценки дизайна, качества и удобства использования новой системы графического вывода;
- Многократное ручное тестирование с помощью имитационных моделей, написанных на языке РДО.

4. Концептуальный этап проектирования системы

На концептуальном этапе проектирования требовалось:

- Описать и дополнить общую структуру подсистемы визуализации и схему её взаимодействия с другими компонентами системы RAO-XT;
- Разработать основной функционал зуммирования для модуля визуализации;
- Описать принципы работы модуля в системе относительных координат;
- Определить общую схему вызова интерфейса подсистемы визуализации в системе RAO-XT;
- Определить критерии, по которым необходимо провести оценку возможностей подсистемы на этапе рабочего проектирования.

4.1. Структура подсистемы визуализации

На этапе концептуального проектирования ключевой задачей является разработка правильной схемы взаимодействия подсистемы визуализации с остальными частями системы RAO-XT.

На этапе формирования ТЗ к подсистеме было предъявлено требование реализовать отображение графа в режиме реального времени в процессе моделирования (пункт 3.3.1). При работе в данном режиме необходимо обновлять графическую информацию, представленную на экране пользователю, по мере выполнения модели. Для этого необходимо выполнять оповещение модуля системой RAO-XT, причем скорость обновления информации должна быть основана на конечном масштабе времени, устанавливаемом пользователем. Также модуль визуализации должен реагировать на возможные изменения пользователем этого масштаба по ходу моделирования.

Ниже приведены основные требования к модулю визуализации как к компоненту системы:

- Сохранение информации о состоянии системы в каждый момент модельного времени производится компонентом *Database* в бинарном формате. Таким образом компонент *Database* осуществляет сериализацию данных, т.е. сохранение их в компактном, но недоступном для восприятия пользователем формате. Модуль визуализации должен уметь интерпретировать эти данные и формировать на выходе древовидную структуру, по которой можно будет восстановить и построить граф пространства состояний и затем вывести его на экран пользователя.
- Модуль визуализации должен предоставлять выходные данные исключительно для пользователя. Никакие другие компоненты системы не должны основывать свою работу на выходных данных модуля визуализации.
- Модуль визуализации должен состоять из двух частей:
 - Библиотечная часть;
 - Графическая часть;
- Библиотечная часть модуля визуализации должна заниматься исключительно преобразованием бинарных данных в древовидную структуру. Далее с полученной

структурой работает графическая часть модуля, расположенная в пакете *UI*. Эта часть отвечает за отрисовку графа на экране и за графический интерфейс пользователя. При этом данные, которые отображает графическая часть модуля, должны полностью соответствовать тем данным, которые на данный момент преобразовала библиотечная часть.

- Разрабатываемый модуль должен быть активен сразу после старта прогона модели. Модуль выводит результат на экран, основываясь на данных, сформированных во время прогона, и должен быть доступен в течение всего процесса работы, реагировать на паузы и остановки процесса моделирования, коррелировать с конечным масштабом времени системы.

4.2. Функционал зуммирования

4.2.1. Описание общей концепции зуммирования

Зуммирование графа является необходимой пользователю функцией, в общем случае на экране одновременно может быть представлено достаточно большое количество информации, отображение которого возможно либо в очень маленьком масштабе, либо в более читаемом, но по частям. Важно предоставить пользователю гибкий инструмент настройки размера изображения.

На этапе концептуального проектирования необходимо определить перечень функций зуммирования графа. Было принято решение реализовать следующие варианты:

- Вписывание графа по ширине в любой момент времени отрисовки;
- Увеличение изображения графа на конечный коэффициент при нажатии клавиши или прокрутке колеса мыши;
- Аналогичное предыдущему пункту уменьшение изображения графа.

Должны быть обеспечены варианты вызова перечисленного функционала как с клавиатуры устройства, так и при помощи колеса мыши.

4.2.2. Характерные размеры вершин

В последней реализации подсистемы каждая вершина графа отображается на экране вместе со своим порядковым номером, соответствующим очередности поступления информации о ней в базу данных системы. Однако при наличии функции масштабирования возможно увеличить количество информации, отображаемой внутри вершины, исходя из размеров последней.

Предлагается ввести три характерных размера вершины, по достижении которого каждый раз при увеличении или уменьшении размеров графа информация, отображаемая внутри вершины, будет изменяться:

- Минимальный;
- Промежуточный;
- Максимальный.

При достижении минимального размера вершиной информация, отображаемая внутри нее, как и раньше должна ограничиваться порядковым номером этой вершины.

В промежуточном варианте было решено помимо порядкового номера выводить значение функции оценки стоимости пути f до целевой вершины через данную в следующем формате:

$\langle \text{порядковый_номер_вершины} \rangle$

$\langle f \rangle = \langle g \rangle + \langle h \rangle$

Для максимального размера вершины было принято решение помимо информации промежуточного варианта отображать имя примененного правила при переходе из предыдущего состояния в данное и стоимость его применения. Имена релевантных ресурсов решено не выводить по причине того, что их может быть достаточно много в общем случае.

Предлагаемый формат для вершины максимального размера:

$\langle \text{порядковый_номер_вершины} \rangle$

$\langle f \rangle = \langle g \rangle + \langle h \rangle$

$\langle \text{имя_правила} \rangle = \langle \text{стоимость_правила} \rangle$

Также для корректной работы функционала масштабирования и для читабельности информации, отображенной на экране, необходимо ввести понятие наименьшего размера вершины, при котором дальнейшее уменьшение масштаба не имеет смысла ввиду неразличимости вершин для глаза пользователя. Этот размер важен для функции вписывания графа по ширине, при достижении этого размера вершинам изображение графа более не уменьшается, дабы не сделать картинку неразличимой для глаза пользователя. Граф располагается в окне интерфейса как есть, и дальнейшее перемещение по нему должно осуществляться при помощи бегунков прокрутки.

4.3. Работа в системе относительных координат

Графическая библиотека, интерфейсы которой используются модулем для отображения информации на экране пользователя, изначально использует систему абсолютных координат, ведущую отсчет по осям в пикселях экрана пользователя. Расположение осей и начало координат представлено на рисунке 2.

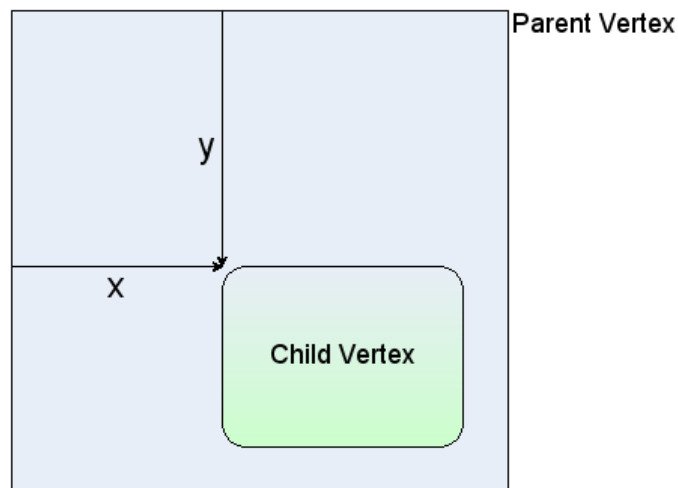


Рис.2. Расположение осей для системы абсолютных координат

Такая система координат имеет один существенный недостаток – для различных устройств вывода, характеристика DPI которых в общем случае неодинакова, выводимое на экран изображение будет выглядеть по-разному. Чтобы уйти от привязки разработчика к конкретной модели устройства, на котором будет выводиться граф, необходимо перейти на систему относительных координат, вид которой представлен на рисунке 3.

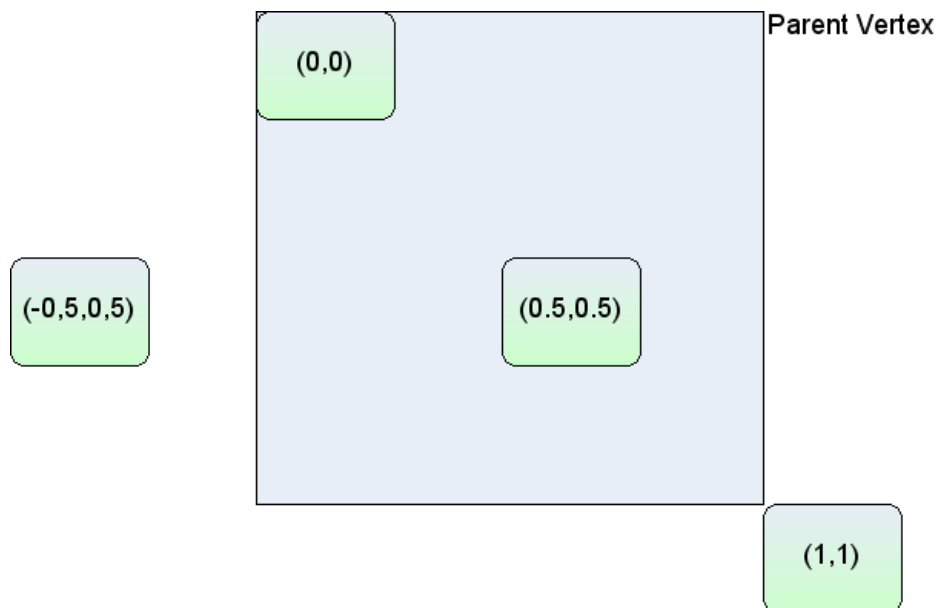


Рис. 3. Пример отсчета позиций элементов изображения в системе относительных координат

Такая система координат лишена данного недостатка, при наличии в большинстве случаев экрана прямоугольной формы (не квадратной) для сохранения пропорций по высоте и ширине, необходимо лишь ввести коэффициент пропорциональности по одной из осей, равный отношению этих величин.

Направления осей можно выбрать произвольными, для простоты было принято оставить их по умолчанию.

Переход на систему относительных координат должен затронуть только графическую часть подсистемы визуализации. Размер экранной формы должен задаваться в отношении к устройству вывода пользователя, а размеры графа – в отношении к размерам экранной формы.

Поменять картинки.

4.4. Вызов окна интерфейса подсистемы

4.4.1. Существующая реализация вызова

На этапе опытной эксплуатации основным и единственным способом вызова окна графического интерфейса модуля визуализации был осуществлен через обращение к модулю трассировки системы RAO-XT. Пользователь двойным нажатием клавиши мыши по строке в полотно трассировки мог вызвать изображение графа по интересующей его точке принятия решений.

При разработке трассировочного модуля системы RAO-XT к нему было предъявлено требование о том, что результаты вывода данного модуля не должны являться входной информацией для других компонентов системы RAO-XT и использоваться где бы то ни было еще, кроме интерфейса модуля. Поэтому было принято решение организовать независимый вызов окна интерфейса подсистемы визуализации, не опирающийся на результат работы модуля трассировки.

4.4.2. Независимый вызов подсистемы визуализации

В последней версии системы RAO-XT появился интерфейс, отображающий для пользователя все объекты, которые должны быть сериализованы в базу данных системы. Данный интерфейс имеет древовидную структуру и отображает все типы объектов, которые могут находиться в базе данных. К числу этих объектов относятся и точки принятия решений типа search, представляющие интерес для разрабатываемого модуля.

На данном этапе было принято решение реализовать независимый вызов подсистемы через элементы дерева описанной выше структуры.

После опроса экспертов выяснилось, что на этапе опытной эксплуатации системы старый способ вызова показался достаточно быстрым и удобным. Ввиду этого факта было решено от него не отказываться и оставить реализацию вызова через строку полотна трассировки в системе. В зависимости от ситуации, пользователю будет дана возможность выбора, что не добавит избыточного нагромождения в системе и вместе с тем предоставит гибкость использования ее функционала.

4.5. Критерии оценки возможностей подсистемы визуализации

Время работы

Точка переполнения памяти

5. Технический этап проектирования

5.1. Проектирование библиотечной части подсистемы визуализации

5.2. Проектирование графической части подсистемы визуализации

6. Рабочий этап проектирования

7. Апробирование разработанной подсистемы в модельных условиях

7.1. Методика тестирования

7.2. Результаты тестирования

8. Заключение

В рамках данного курсового проекта были получены следующие результаты:

- Проведено предпроектное исследование системы имитационного моделирования RAO-XT и ее компонентов на предмет необходимости внедрения новой подсистемы;
- Определены основные функции и требования к подсистеме, на основе которых было составлено техническое задание;
- На этапах концептуального и технического проектирования была разработана основная структура подсистемы, схема ее взаимодействия с другими компонентами системы RAO-XT, обоснован выбор графической библиотеки и рассмотрены аспекты технической реализации;
- На этапе рабочего проектирования был разработан и реализован модуль визуализации поиска на графе пространства состояний для системы имитационного моделирования RAO-XT. Модуль реализован таким образом, что другим компонентам системы не требуется использовать его вывод для своего функционирования;
- Была разработана и испытана методика ручного тестирования модуля визуализации. Результаты тестов показали, что интеграция модуля в систему RAO-XT проведена успешно.

Список использованных источников

1. **Емельянов, В. В.** Введение в интеллектуальное имитационное моделирование сложных дискретных систем и процессов. Язык РДО. / В. В. Емельянов, С. И. Ясиновский - М.: "Анвик", 1998. - 427 с., ил. 136.
2. **Емельянов, В. В.** Принятие оптимальных решений в интеллектуальных имитационных системах: Учебное пособие по курсам «Методы системного анализа и синтеза» и «Моделирование технологических и производственных процессов» / В.В. Емельянов, В.И. Майорова, Ю.В. Разумцова и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2002. – 60 с.: ил.
3. Документация по языку РДО [<http://www.rдостudio.com/help/index.html>]
4. Java™ Platform, Standard Edition 7. API Specification.
[<http://docs.oracle.com/javase/7/docs/api/>]
5. JGraphX (JGraph 6) User Manual
[https://jgraph.github.io/mxgraph/docs/manual_javavis.html]
6. JGraphx API Specification [<https://jgraph.github.io/mxgraph/java/docs/index.html>]

Список использованного программного обеспечения

7. Autodesk AutoCAD2012
8. Eclipse IDE for Java Developers Luna Service Release 1 (4.4.1)
9. Inkscape 0.48.4
10. Microsoft Office Word 2010
11. openjdk version "1.8.0_40-internal"
12. Visual Paradigm for UML 8.0

Приложение А. Исходный код модели, использованной для тестирования модуля

```
/* Game 5 */

$Resource_type Фишка : permanent
$Parameters
    Номер: integer
    Местоположение: integer
$End

$Resource_type Дырка_t : permanent
$Parameters
    Место: integer
$End

$Resources
    Фишка1 = Фишка(1, 2);
    Фишка2 = Фишка(2, 3);
    Фишка3 = Фишка(3, 6);
    Фишка4 = Фишка(4, 4);
    Фишка5 = Фишка(5, 5);
    Фишка6 = Фишка(6, 9);
    Фишка7 = Фишка(7, 7);
    Фишка8 = Фишка(8, 8);
    Дырка = Дырка_t(1);
$End

$Pattern Перемещение_фишки : rule
$Parameters
    Куда_перемещать: such_as Место_дырки
    На_сколько_перемещать: integer
$Relevant_resources
    _Фишка: Фишка Keep
    _Дырка: Дырка_t Keep
$Body
    _Фишка:
        Choice from Где_дырка(_Фишка.Местоположение) ==
Куда_перемещать
        first
            Convert_rule Местоположение = _Фишка.Местоположение +
На_сколько_перемещать;
        _Дырка:
            Choice NoCheck
            first
                Convert_rule Место = _Дырка.Место - На_сколько_перемещать;
$End

$Decision_point Расстановка_фишек : search
$Condition Exist(Фишка: Фишка.Номер <> Фишка.Местоположение)
$Term_condition
    For_All(Фишка: Фишка.Номер == Фишка.Местоположение)
$Evaluate_by IDS()
```

```

$Compare_tops = YES
$Activities
    Перемещение_вправо: Перемещение_фишки(справа, 1) value after
1;
    Перемещение_влево : Перемещение_фишки(слева, -1) value after
1;
    Перемещение_вверх : Перемещение_фишки(сверху, -3) value after
1;
    Перемещение_вниз  : Перемещение_фишки(снизу, 3) value after 1;
$End

$Constant
    Место_дырки: (справа, слева, сверху, снизу, дырки_рядом_нет)
= дырки_рядом_нет
    Длина_поля : integer = 3
$End

$Function IDS: integer
$Type = algorithmic
$Parameters
$Body
    return 0;
$End

$Function Ряд: integer
$Type = algorithmic
$Parameters
    Местоположение: integer
$Body
    return (Местоположение - 1) / Длина_поля + 1;
$End

$Function Остаток_от_деления : integer
$Type = algorithmic
$Parameters
    Делимое : integer
    Делитель : integer
$Body
    integer Целая_часть = Делимое/Делитель;
    integer Макс_делимое = Делитель * Целая_часть;
    return Делимое - Макс_делимое;
$End

$Function Столбец: integer
$Type = algorithmic
$Parameters
    Местоположение: integer
$Body
    return Остаток_от_деления(Местоположение - 1, Длина_поля) +
1;
$End

$Function Где_дырка : such_as Место_дырки

```



```

$Type = algorithmic
$Parameters
    _Место: such_as Фишка.Местоположение
$Body
    if (Столбец(_Место) == Столбец(Дырка.Место) and Ряд(_Место)
== Ряд(Дырка.Место)+ 1) return сверху;
    if (Столбец(_Место) == Столбец(Дырка.Место) and Ряд(_Место)
== Ряд(Дырка.Место)- 1) return снизу;
    if (Ряд(_Место) == Ряд(Дырка.Место) and Столбец(_Место) ==
Столбец(Дырка.Место)- 1) return справа;
    if (Ряд(_Место) == Ряд(Дырка.Место) and Столбец(_Место) ==
Столбец(Дырка.Место)+ 1) return слева;
    return дырки_рядом_нет;
$End

$Function Фишка_на_месте : integer
$Type = algorithmic
$Parameters
    _Номер: such_as Фишка.Номер
    _Место: such_as Фишка.Местоположение
$Body
    if (_Номер == _Место) return 1;
    else return 0;
$End

$Function Кол_во_фишек_не_на_месте : integer
$Type = algorithmic
$Parameters
$Body
    return 5 - (Фишка_на_месте(Фишка1.Номер,
Фишка1.Местоположение)+
                Фишка_на_месте(Фишка2.Номер,
Фишка2.Местоположение)+
                Фишка_на_месте(Фишка3.Номер,
Фишка3.Местоположение)+
                Фишка_на_месте(Фишка4.Номер,
Фишка4.Местоположение)+
                Фишка_на_месте(Фишка5.Номер,
Фишка5.Местоположение) );
$End

$Function Расстояние_фишки_до_места : integer
$Type = algorithmic
$Parameters
    Откуда: integer
    Куда : integer
$Body
    return Math.abs(Ряд(Откуда)-Ряд(Куда)) +
Math.abs(Столбец(Откуда)-Столбец(Куда));
$End

$Function Расстояния_фишек_до_мест : integer
$Type = algorithmic

```

\$Parameters

\$Body

```
    return Расстояние_фишки_до_места (Фишка1.Номер,  
Фишка1.Местоположение) +  
        Расстояние_фишки_до_места (Фишка2.Номер,  
Фишка2.Местоположение) +  
        Расстояние_фишки_до_места (Фишка3.Номер,  
Фишка3.Местоположение) +  
        Расстояние_фишки_до_места (Фишка4.Номер,  
Фишка4.Местоположение) +  
        Расстояние_фишки_до_места (Фишка5.Номер,  
Фишка5.Местоположение);
```

\$End

\$Results

```
f1 : get_value Фишка1.Местоположение  
f2 : get_value Фишка2.Местоположение  
f6 : get_value Дырка.Место
```

```
ft1 : get_value 1  
ft2 : get_value 5
```

\$End