

Комплекс имитационных моделей вычислительных систем и сетей

Н. В. Ефимушкина¹, С. П. Орлов²

Самарский государственный технический университет

¹ nvefimushkina@mail.ru, ² orlovsp1946@gmail.com

Аннотация. В докладе описан комплекс имитационных моделей, разработанных авторами для изучения компьютерных систем и их подсистем, а также топологии вычислительных сетей. Комплекс предназначен, в первую очередь, для студентов высших учебных заведений, но может использоваться и при проведении научных исследований. Рассмотрены общие проблемы разработки моделей вычислительных систем и показаны пути их решения. Описана структура комплекса имитационных моделей, состоящего из четырех групп: модели подсистемы ввода-вывода, модели памяти компьютеров, модели процессоров и модели топологии вычислительных сетей. Приведены экранные формы пользовательского интерфейса.

Ключевые слова: моделирование компьютерных систем; процессоры; память компьютеров; вычислительные сети

I. ВВЕДЕНИЕ

Вычислительные системы и их подсистемы относятся к классу сложных технических систем. Их исследованием занимается соответствующая теория, традиционно использующая три основных класса методов: аналитические, имитационные и экспериментальные [1, 2]. Первые описывают функционирование системы с помощью явных математических зависимостей. Это не всегда возможно для сложных систем. Экспериментальные методы являются наиболее достоверными, но характеризуются большой трудоемкостью и частным характером результатов, что существенно ограничивает их применение.

Наиболее перспективными для исследования вычислительных систем и их подсистем представляются методы имитационного моделирования [3, 4, 7]. В докладе обобщается опыт применения имитационного моделирования для исследования и изучения широкого разнообразия компьютерных систем. Основное назначение разработанных моделей – изучение вычислительных процессов и систем студентами высших учебных заведений. Следует отметить, что эти модели могут использоваться и для исследовательских целей.

II. ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

При разработке имитационных моделей решался целый ряд проблем:

- определение цели исследования;

- выбор элементов исследуемых систем, которые должны отображаться в модели;
- определение уровня детализации структуры и функций объекта;
- оценка адекватности модели.

Важнейшими характеристиками вычислительных систем являются временные, поэтому при разработке моделей ставилась задача оценки именно таких характеристик. Это определило особенности решения остальных проблем.

При решении второй проблемы для каждого типа систем или подсистем выбирался свой набор элементов и устройств, которые оказывают существенное влияние на временные характеристики. Кроме того было решено, не представлять в моделях второстепенные элементы систем, усложняющие процесс исследования и восприятия. Описываемый подход привел к созданию комплекса упрощенных моделей компьютеров и систем.

Что касается уровня детализации параметров, то структура большинства систем представлялась на уровне отдельных устройств или их блоков, а программы, которые выполнялись этими устройствами, – как последовательность команд.

Известно, что на работу вычислительных систем существенное влияние оказывают случайные воздействия:

- времена запуска программ, в общем случае, случайные величины;
- исходные данные выполняемых программ являются случайной выборкой из всего множества данных;
- смесь задач, которые решаются одновременно, имеет случайный характер.

Это обстоятельство привело к тому, что в моделях для задания исходных параметров используются случайные величины, а также применяется вероятностное описание процессов.

Важной особенностью разработанных моделей является широкое применение анимации в пользовательском интерфейсе. Она улучшает восприятие протекающих процессов и облегчает их исследование и изучение.

При разработке имитационных моделей традиционно применяют технологию объектно-ориентированного программирования. При этом классы объектов соответствуют элементам структуры, их параметры – входам и выходам элементов, а свойства (методы, процедуры) – функциям. Программа моделирования должна воспроизводить взаимодействие элементов в процессе работы системы и позволять оценивать временные и другие важные характеристики элементов и систем. Такой подход использовался авторами при разработке имитационных моделей различных вычислительных систем и их подсистем [4–7].

III. КОМПЛЕКС ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Разработанный комплекс охватывает четыре группы моделей основных подсистем современного компьютера (рис. 1):

- подсистема ввода-вывода (модели ввода с клавиатуры, вывода на принтер, режим прямого доступа к оперативной памяти (ПДП));
- память компьютера, в том числе кэш-память и память многопроцессорных систем;
- основные архитектуры процессора (конвейерная, суперскалярная, микроархитектура EPIC);
- топологии основных конфигураций локальных вычислительных сетей.

Все модели используют развитый пользовательский интерфейс, позволяющий выполнять настройку параметров и обеспечивающий анимационный вывод имитируемых процессов. База данных хранит результаты проведенных экспериментов, что дает возможность использовать статистическую обработку.

Ниже в качестве примеров описаны модель суперскалярного процессора и модели компьютерных сетей различных топологий, построенные с использованием описанной методики.

IV. МОДЕЛЬ СУПЕРСКАЛЯРНОГО ПРОЦЕССОРА

Суперскалярная архитектура является наиболее распространенной для современных процессоров. Она используется в одно- и многоядерных микропроцессорах. Классическую суперскалярную структуру имеет процессор Pentium Pro.

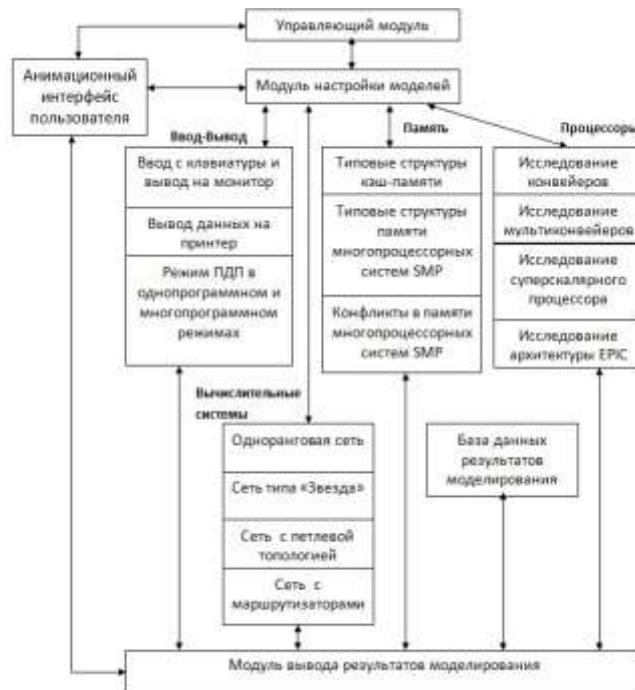


Рис. 1. Структура комплекса имитационных моделей

Практически все современные микропроцессоры Intel наследуют заложенные в Pentium Pro идеи. Для исследования особенностей его функционирования была разработана имитационная модель, в состав которой включены следующие наиболее важные блоки:

- выборки команд;
- дешифрации;
- таблица псевдонимов регистров;
- станция-резервуар;
- функциональные блоки;
- буфер восстановления последовательности команд
- кэш команд и данных уровня L1.

Эти блоки отображены на экранной форме модели (рис. 2).

Программа, которая выполняется процессором, представляется как последовательность команд, длину которой можно варьировать от 100 до 500. Она содержит смесь следующих типовых команд:

- целочисленной арифметики;
- с плавающей точкой;
- операций с памятью;
- условных переходов.

Состав смеси может меняться пользователем. Он формируется с помощью датчика случайных чисел.

Результатами моделирования являются следующие временные характеристики: общее количество тактов работы процессора; среднее время выполнения команды в тактах; количество неправильно предсказанных переходов.

Они представляются в правом верхнем углу экранной формы, изображенной на рис. 2.

В дальнейшем авторами была разработана имитационная модель процессора с микроархитектурой EISC, типичным представителем которой является микропроцессор Itanium 2.

V. ИМИТАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

При исследовании компьютерных сетей рассматривались такие типовые топологии, как одноранговая (сеть типа Ethernet) и звездообразная.

Наиболее важными характеристиками сетей являются среднее время доставки пакетов сообщений и количество потерянных пакетов. На эти характеристики влияют, прежде всего, параметры программ, выполняемых станциями сети, а также пропускная способность канала передачи и возможное наличие помех в нем. В связи с этим было решено при моделировании представить в структуре сетей обоих типов только станции (компьютеры пользователей) и канал, а в звездообразной топологии – еще и коммутатор.

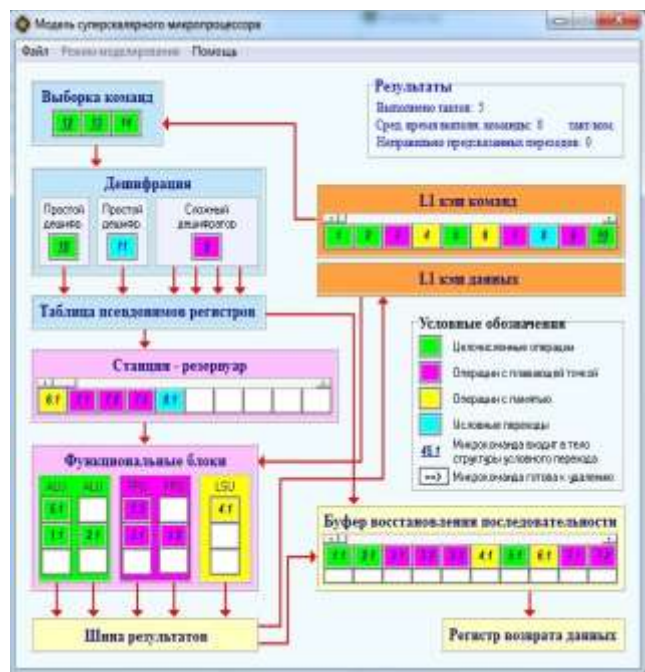


Рис. 2. Экранная форма имитационной модели суперскалярного процессора

Уровень детализации параметров в обеих моделях определяется количеством активных станций, а также тем, как представлены программы, выполняемые станциями.

На временные характеристики сети влияют следующие параметры программ:

- Общее количество передаваемых пакетов.
- Интервалы между моментами их передачи, которые являются случайными величинами и задаются в модели средними значениями.
- Длина пакета.
- Количество адресатов, которым передается информация.

Эти параметры и были выбраны в качестве исходных данных для моделирования. Причем, для проведения более широких исследований было решено предоставить пользователям возможность задавать для каждой станции несколько типов программ, отличающихся числовыми значениями параметров.

Модель одноранговой сети позволяет оценить следующие характеристики:

- Общее время выполнения всех программ.
- Общее число наложений помех на пакеты.
- Количество снятых задач, для которых число неудачных попыток передачи пакетов превысило допустимое значение.

Экранная форма модели приведена на рис. 3. На ней строятся временные диаграммы передачи пакетов каждой станцией. Причем, наложения пакетов друг на друга и помехи изображаются линиями, проходящими через все диаграммы. Сами пакеты закрашиваются цветом передающей станции.

Характеристиками звездообразной сети, определяемыми с помощью модели, являются: общее время выполнения всех программ; количество задержанных передач; время ожидания пакетов в коммутаторе; среднее время ожидания пакетов в сети. Экранная форма этой модели приведена на рис. 4. На ней построены временные диаграммы передачи пакетов, причем каждый пакет закрашивается цветом передающей станции.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный подход к разработке имитационных моделей элементов вычислительных систем и сетей апробирован на большом количестве объектов исследования. Адекватность разработанных моделей подтверждена экспериментально с помощью измерений, проведенных на реальных системах с помощью пакетов Sysinfo и др. Результаты показали приемлемую погрешность моделей, что позволяет применять их для исследования вычислительных систем и их подсистем.

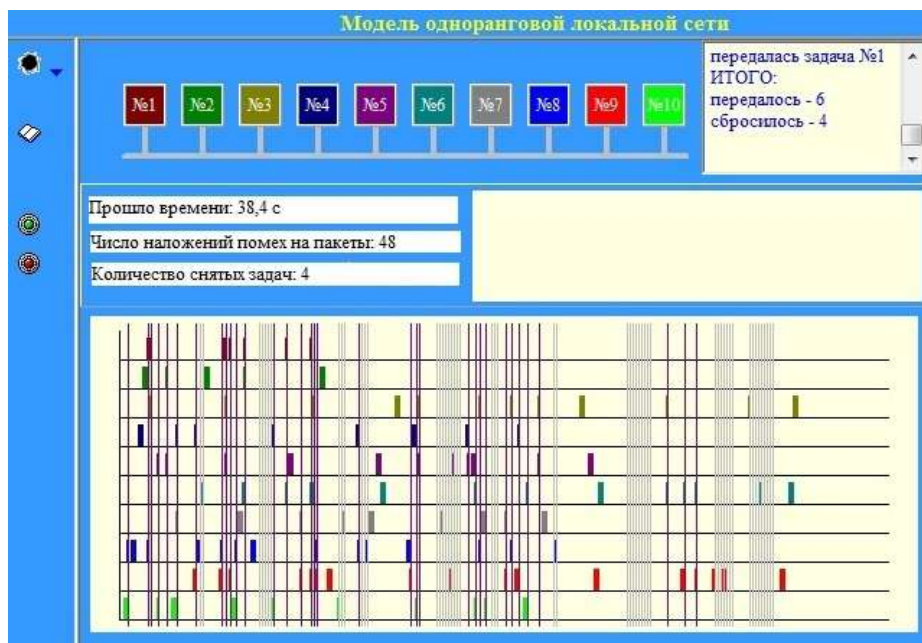


Рис. 3. Экранная форма модели одноранговой линейной сети



Рис. 4. Экранная форма модели сети типа «Пассивная звезда»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Орлов С.А., Цилькер Б.Я. Организация ЭВМ и систем. СПб: Питер, 2011. 688 с.
- [2] Орлов С.П., Ефимушкина Н.В. Организация вычислительных машин и систем. Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2016. 280 с.
- [3] Петров А.В. Моделирование процессов и систем: Учеб. пособие для вузов. СПб.: Лань, 2015. 288 с.
- [4] Efimushkina N.V., Orlov S.P. Simulation models of the multiprocessor systems //News of Science and Education. 2014. No. 21. P. 94-103.
- [5] Efimushkina N.V., Orlov S.P. Simulation models for studying the multiprocessor systems// Proceedings of Computer Modeling and Simulation, COMOD '2014. SPbGTU. Saint-Peterburg. 2014. P. 145-149.
- [6] Orlov S.P., Efimushkina N.V. Simulation models for parallel computing structures //2016 XIX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements ,SCM'2016. IEEE Conference Publications. 2016. V.1. P. 231-234.
- [7] Orlov S.P., Efimushkina N.V. Simulation models of computer subsystems// Proceedings of 2017 20th IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM '2017. IEEE Conference Publications. 2017. P. 323-326.