

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ В АНАЛИЗЕ И РАЗРАБОТКЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Томилин А.Н.

г. Москва, Россия

Математическая модель вычислительной машины оказывает существенную помощь в процессе проектирования и макетирования новой машины, так как пригодна для исследования различных вариантов структурной схемы машины, позволяет провести полный анализ процесса движения информации в машине при различных режимах работы ее устройств, получить большой объем статистических данных.

Особенно важно исследование процесса движения информации в вычислительных машинах, отдельные устройства которых работают параллельно и асинхронно. От согласования работы устройств машины во многом зависит эффективность ее работы.

Математическая модель машины такого класса - БЭСМ-6 была создана в Институте точной механики и вычислительной техники, где с 1961 года проводятся работы по математическому моделированию структурных схем вычислительных машин.

Инициатором работ по математическому моделированию ЭВМ был академик С.А.Лебедев. Вместе с группой сотрудников института (А.Н.Томилин, А.М.Степанов, В.Е.Вулихман) он длительное время разрабатывал алгоритмы моделирования и писал программы их реализации на инструментальных ЭВМ.

Испытания математической модели БЭСМ-6 преследовали следующие основные цели:

- проверку эффективности различных вариантов логики работы основных устройств - оперативного запоминающего устройства, устройства управления, арифметического устройства и буферных устройств промежуточного хранения информации;
- оценку влияния изменения состава устройств на скорость работы машины;
- оценку влияния изменения параметров работы устройств на скорость работы машины;
- оценку влияния работы каналов обмена информацией с внешней памятью на скорость работы машины.

Проводились испытания различных вариантов структурной схемы машины и ее отдельных устройств.

Рассматривался выбор организации оперативной памяти, позволяющей производить одновременное обращение (к разным блокам памяти) за командными словами, считывание и запись операндов. По результатам моделирования сравнивался вариант раздельной памяти для команд и для чисел с вариантом общей памяти, делался вывод о равносильности этих вариантов по

отношению к скорости работы машины и о существенных преимуществах общей памяти для работы операционной системы и организации многопрограммного режима работы машины.

Отмечалось, что скорость работы машины падает при уменьшении числа блоков оперативной памяти с 8 до 4 на 8-10%, с 8 до 2 - на 25-30%, с 8 до 1 - на 45-50%.

Исследовалось влияние на скорость работы машины изменения времени появления кода при считывании из памяти при неизменном времени цикла работы блока памяти. Оценивался эффект перехода от симметричной памяти по времени считывания и записи к несимметричной памяти (с быстрым считыванием и медленной записью).

Исследовалось также влияние изменения параметров работы арифметического устройства (времен выполнения операций, частоты задающего генератора) и устройства управления (времен выполнения команд) на скорость работы машины.

Совмещение выполнения операций в центральной части машины, состоящей из оперативной памяти, устройства управления и арифметического устройства достигается за счет одновременного выполнения нескольких операций на разных стадиях их выполнения. Эффективная организация такого потока (конвейера) операций в центральной части машины возможна при введении буферных устройств промежуточного хранения информации.

Выбор связей между основными устройствами центральной части машины и буферными устройствами, выбор логики работы буферных устройств и числа регистров, входящих в них - одна из основных задач математического моделирования структурной схемы машины.

К модели центральной части машины различными способами подключались блоки, моделирующие работу буферных устройств. Результаты проведенных испытаний различных вариантов математической модели способствовали выбору структуры буферных устройств и логики их работы.

Установлено, что введение 2 регистров буфера арифметических команд, предназначенного для обеспечения параллельности работы устройства управления и арифметического устройства, приводит к увеличению скорости работы на 25%, введение 3 регистров - на 32%, 4 регистров - на 35%. Увеличение числа регистров буфера сверх четырех является нецелесообразным.

Введение буфера командных слов основано на значительном эффекте его использования (до 12% увеличения скорости работы машины) при хранении на нем команд коротких циклов. Выполнение таких циклов происходит без обращения к оперативной памяти для выборки командных слов.

Непрерывность работы устройства управления машины по обработке команд и уменьшение простоя отдельных блоков оперативной памяти достигается решением проблемы записи в оперативную память путем введения буферных регистров результатов работы арифметического устройства. Наличие всегда хотя бы одного свободного регистра буфера записываемых результатов позволяет ликвидировать возможную задержку в устройстве управления. Организация считывания из буферных регистров записи в арифметическое

устройство кодов, необходимых для выполнения операций, приводит к появлению быстродействующей памяти ограниченного объема (КЭШ -памяти).

Скорость работы машины при 4 регистрах такой памяти увеличивается на 15%, при 8 регистрах - на 25%, при 16 регистрах - на 30%. Дальнейшее увеличение числа регистров повышает скорость работы машины незначительно.

Было выяснено, что эффект введения дополнительных буферных регистров для сохранения кодов, вызываемых в арифметическое устройство из оперативной памяти, незначителен.

Рассматривалось влияние работы каналов обмена с внешней памятью на производительность машины, выяснилась возможность подключения к машине новых каналов быстрого обмена.

В настоящее время математическое моделирование структур вычислительных систем используется широко. Практически любой разработке предшествует создание аналитической или имитационной модели разрабатываемой вычислительной системы и анализ поведения системы с использованием модели.

Такие модели создаются фирмами-разработчиками или по их заказу и, как правило, являются узконаправленными, то есть каждая модель обеспечивает моделирование только некоторой конкретной вычислительной системы.

Решение актуальной задачи автоматизации создания моделей структур вычислительных систем возможно лишь при использовании программного комплекса - моделирующей системы, способной настраиваться на моделирование различных структур исследуемых объектов.

Такая моделирующая система должна обеспечивать:

- удобное задание описания структуры исследуемой системы;
- получение актуальной статистики о работе исследуемой системы;
- приемлемые ресурсные характеристики (время работы процессора, объем используемой памяти).

Естественным представляется создание моделирующей системы, программные механизмы которой отражают фундаментальное свойство дискретности структуры и работы вычислительных систем:

- вычислительные системы состоят из элементов, каждый из которых получает информацию от некоторых элементов, обрабатывает ее и передает информацию другим элементам;
- все передачи и процессы обработки информации выполняются за промежутки времени, кратные единой для всей системы единице времени, называемой тактом синхронизации.

Как можно более точное прослеживание с помощью моделирующей системы всех актов передачи и обработки информации в моделируемой системе можно определить как "натурное" имитационное моделирование поведения исследуемой системы.

В общем случае может выполняться моделирование структуры вычислительной системы, элементы которой могут быть представлены на различных уровнях детализации: регистры в устройствах ЭВМ, устройства в ЭВМ, ЭВМ в сети ЭВМ.

Моделирующая система, имеющая указанные назначение и возможности, использует:

- стандартные описания входов и выходов, то есть связей элементов моделируемой системы;
- стандартные указания о работе элементов (условия начала работы, имя библиотечной или "пользовательской" программы-имитатора обработки информации, выполняемой в элементе).

Программа-имитатор работы элемента выдает результаты своей работы, в том числе вычисленное время работы элемента, в моделирующую систему тоже стандартным образом.

Таким образом, стандартизация представления элементов, их связей и их работы является основой работы настраиваемой системы имитационного моделирования, то есть системы, которая настраивается на моделирование конкретной структуры, заданной стандартным образом.

Запись структуры вычислительной системы, выполняемая разработчиками на некотором языке, отражающем рассмотренные выше требования стандартизации, или задаваемая графически, для работы модели исследуемой структуры переводится во внутреннюю форму представления структуры в моделирующей системе.

Это первый этап моделирования. Его осуществляет компонент моделирующей системы - транслятор с входного языка записи структуры моделируемой системы.

Внутреннее представление данных о моделируемой системе в моделирующей системе имеет вид таблиц-матриц, в клетках которых фиксируется наличие информации, передаваемой от элемента к элементу исследуемой системы (и, если необходимо, конкретные значения передаваемых данных), а также фиксируются времена возникновения передаваемых данных на выходах (входах) элементов. В клетке, находящейся на пересечении i -ой строки и j -го столбца, помещаются сведения о передаче информации от элемента с номером i элементу с номером j . Имена (адреса входов) программ-имитаторов обработки информации в элементах помещаются в отдельную таблицу.

После работы транслятора с входного языка записи исследуемой структуры или его графического эквивалента в таблицах-матрицах отмечаются используемые клетки (так отражаются связи элементов) и составляется таблица имен (адресов входов) программ-имитаторов обработки информации в элементах.

Таким образом, в результате выполнения первого этапа моделирования возникает статическая модель исследуемой системы. Иначе можно сказать, что моделирующая система настраивается на моделирование исследуемой структуры и поэтапно становится моделью работы конкретной вычислительной структуры, описанной стандартным образом.

Следующий компонент моделирующей системы - ядро осуществляет собственно моделирование, то есть работу динамической модели исследуемой системы. В этом заключается второй (основной) этап моделирования.

Ядро запускает при наличии событий, отмеченных в клетках таблиц-матриц, программы-имитаторы обработки информации в элементах. Эти программы передают ядру результаты своей работы:

- времена окончания работы элементов (эти времена могут быть временами начала работы других элементов, связанных с окончившими работу элементами);
- конкретную информацию, выработанную элементами (при необходимости).

Ядро помещает эти сведения о возникших новых событиях в моделируемой системе в клетки таблиц-матриц, запускает новые программы-имитаторы обработки информации в элементах и т.д.

Все события фиксируются в течение модельного времени работы исследуемой системы.

Так на базе событийного подхода к организации моделирования работает цикл "натурного" имитационного моделирования. При этом обеспечивается моделирование настолько точное, насколько точные результаты работы элементов моделируемой системы передают ядру программы-имитаторы.

Источником событий, запускающих рассмотренный цикл моделирования, является имитация рабочей нагрузки моделируемой системы. Она заключается в результатах, передаваемых ядру программами-имитаторами работы условных "внешних" элементов моделируемой системы. Этими результатами могут быть команды конкретных программ работы вычислительных средств, реальные или статистически получаемые потоки данных, обрабатываемых в моделируемой системе.

В целом весь второй этап моделирования начинается под управлением предусмотренного во входном языке описания структуры моделируемой системы оператора начала моделирования. Окончание моделирования может происходить либо по истечении некоторой величины модельного времени, указанной в операторе конца моделирования, либо по истечению обрабатываемой исходной информации.

Следующим компонентом моделирующей системы является подсистема сбора статистики о работе исследуемой системы. В процессе работы модели определяется:

- времена работы элементов;
- времена простоев элементов;
- времена пассивной занятости элементов (невозможности передать полученную в результате работы элементов информацию из-за занятости выходов элементов);
- время ожидания появления информации на каждом из входов элементов;
- времена занятости каждого из выходов элементов и т.д.

Для моделирования различных вариантов исследуемой вычислительной структуры, отслеживания в модели эволюции разрабатываемой системы необходимо уметь вносить изменения в ранее созданные модели (в их описания и/или в их внутреннее представление в таблицах-матрицах моделирующей системы).

Каждый элемент рассмотренного типа исследуемых систем может, в свою очередь, являться системой аналогичного типа.

Актуальной является задача замены элементов в моделируемой системе на подсистемы элементов, то есть осуществление детализации исследуемой системы, а также обратная задача укрупнения, то есть объединения ряда элементов в один элемент исследуемой системы.

При решении этих задач автоматически обеспечивается проведение моделирования на изменяемых, в том числе смешанных уровнях детализации исследуемой системы. Решение задач внесения изменений, детализации и укрупнения достигается за счет использования специализированной базы данных моделирования.

Информация об отдельных структурах из элементов может находиться в базе данных моделирования в виде внутреннего представления этих структур в таблицах-матрицах. При замене элемента исследуемой системы на структуру из базы данных моделирования производится модификация (расширение) таблиц-матриц исследуемой структуры. При укрупнении элементов исследуемой структуры выполняется обратное действие (сужение) таблиц-матриц этой структуры. Занесение информации о структуре в базу данных моделирования и другие действия с информацией в этой базе данных выполняются под управлением специальных операторов работы с базой данных моделирования, входящих во входной язык моделирования. В базе данных моделирования, организованных в виде таблиц, естественным является применение реляционного подхода. База данных моделирования должна представлять также возможности работы с описаниями исследуемых структур на входном языке моделирования.

Эффективность выполнения процессов моделирования и работы с базой данных моделирования может быть существенно увеличена за счет обеспечения интерактивного режима работы пользователей-проектировщиков с системой имитационного моделирования.

В заключение следует сказать, что имеется успешный опыт применения описанного подхода к моделированию отечественных вычислительных систем. С помощью созданной системы моделирования проведено моделирование прохождения потоков данных в использовавшемся в Центрах управления полетом космических аппаратов многомашинном комплексе АС-6, объединенном высокоскоростными каналами передачи данных, и моделирование работы процессора разработанной АН СССР и МЭП СССР суперЭВМ "Электроника ССБИС" при выполнении конкретных программ.