

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОГРАММНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЦВМ

А.Г. Шигин

При современном состоянии развития вычислительной техники процесс проектирования цифровой вычислительной машины (ЦВМ) осуществляется в виде ряда последовательных взаимосвязанных этапов [1]. В связи со сложностью этого процесса много внимания уделяется созданию автоматизированных систем проектирования (АСП) ЦВМ. Наиболее полная и гармонически связанная АСП ЦВМ создана в Институте кибернетики АН УССР под руководством академика В.М. Глушкова.

В процессе проектирования ЦВМ различные методы синтеза сочетаются с программным моделированием. Программное моделирование до недавних пор являлось только средством анализа исследуемого варианта узла, устройства или ЦВМ в целом. Программной (алгоритмической, цифровой) моделью (ПМ) будем называть такую модель, в которой отображение объекта моделирования осуществляется посредством программ (алгоритмов), реализуемых на ЦВМ с целью определения соответствующих характеристик объекта. Программное моделирование может быть эффективным при проектировании ЦВМ только в том случае, если оно оснащено соответствующим алгоритмическим языком, позволяющим описывать объекты моделирования, и транслятором.

Обычно собственно проектирование ЦВМ осуществляется в следующей последовательности [2]:

1. Структурный уровень проектирования, на котором определяется состав функциональных блоков в блок-схеме ЦВМ, связь между блоками и закон функционирования этой

схемы. Разработчик на этом этапе обычно пользуется программным моделированием, которое позволяет оценить время реализации типовой для разрабатываемой системы программы, проанализировать потоки информации в этой системе и выявить ошибки.

2. Функциональный уровень проектирования связан с представлением разрабатываемой ЦВМ в виде набора функциональных узлов и связей между ними. На этом этапе с помощью ПМ сравнивают различные варианты построения функциональных блоков и их взаимодействие, устраняют ошибки, оценивают выбранную систему команд, микропрограммное управление, эффективность организации совмещения при выполнении микроопераций и команд и т.д.

3. Логический уровень проектирования связан с представлением функциональной схемы с подробностью до логического элемента. С помощью ПМ проверяют правильность реализации логических схем.

На каждом из названных этапов проектирования ЦВМ программное моделирование является удобным и эффективным средством экспериментальной проверки и оценки разрабатываемого варианта.

Программное моделирование позволяет при сравнительно экономных затратах оценивать имеющиеся варианты построения объекта и выбирать наилучший. В данном случае ПМ является средством изучения и углубления познания создаваемого объекта. В настоящее время стала очевидна необходимость, а после ряда исследований [3,4,5] и возможность расширения использования ПМ в процессе проектирования ЦВМ. Это прежде всего связано с дальнейшим усложнением ЦВМ и организации их использования. В большинстве случаев при постановке задачи проектирования информация, получаемая проектировщиками из технического задания (ТЗ) бывает недостаточной. Мало имеется сведений (из-за трудности их получения, накопления и систематизации) о зависимости характеристик сложноорганизованной большой системы от характеристик отдельных элементов и их использования. Кроме того, арсенал средств синтеза на каждом этапе проектирования весьма ограничен. По существу, проектировщик сталкивается с большей или меньшей неопределенностью в зависимости от характера разрабатываемой ЦВМ и выполняемого этапа проектирования. Главный конструктор и коллектив конструкторов должен за счет самообучения в процессе проектирования, за счет накопления новых сведений уменьшить первоначальную неопределенность. Очевидно, что ПМ является весьма перспективным аппаратом для организации такого процес-

В ряде случаев для некоторых простых процедур проектирования могут быть созданы адаптивные и обучающиеся ПМ. Наибольшее значение имеют ПМ для "обучения учителя", т.е. конструктора. Принципы и устройства создания подобных ПМ для различных этапов проектирования, по существу, одинаковы, такая универсальность ПМ также весьма ценна.

Поиск оптимального варианта сложноорганизованной системы при проектировании осуществляется путем варьирования параметров этой системы на ПМ. Отметим, что под термином "параметры системы" ($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$) следует понимать как характеристики отдельных компонент системы, так и структуру их соединения и закон функционирования. Начальный вариант разрабатываемого объекта (а следовательно и ПМ) может быть получен путем использования известных методов синтеза или создан на основе имеющегося у проектировщика опыта. После исследования начального варианта системы и анализа полученных данных моделирования принимается решение о необходимости изменения одного из нескольких параметров системы. Затем, после исследования нового варианта, сравниваются показатели этих двух вариантов системы. В результате принимается решение о необходимости дальнейшего варьирования параметров с целью получения наиболее удовлетворительного варианта. При оптимизации многопараметровой системы подобная организация проектирования требует большого объема исследований на ПМ. В результате программного моделирования происходит накопление сведений о процессе проектирования выбранного класса объектов. Последующие обобщения сведений по проектированию нескольких классов объектов дают представление об организации процесса проектирования ЦВМ с использованием ПМ.

Однако при проектировании сложноорганизованных систем проектировщик затрудняется или не может принять объективное решение по дальнейшему совершенствованию варианта схемы на основе непосредственного наблюдения данных, получаемых в процессе программного моделирования. Это объясняется тем, что характеристики системы определяются многочисленными взаимосвязанными параметрами. Поэтому многошаговый процесс приближения к желаемым характеристикам проектируемой системы с использованием ПМ в этом случае оказывается мало эффективным. Для расширения возможностей применения ПМ при проектировании и совершенствовании самого процесса проектирования ЦВМ целесообразно использовать различные известные и специально разработанные новые методы факторного эксперимента (как для дискретной, так и для не-

прерывной среды), некоторые специально разработанные приемы нахождения математического описания дискретных ПМ с использованием опыта специалистов, а также обобщенные математические модели объекта, в которых отражаются потенциальные возможности получения новых вариантов ПМ. Это осуществляется посредством:

1. определения математического описания выбранного критерия качества $Z = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$;
2. сокращения количества переборов при нахождении оптимального варианта;
3. поиска стратегии многошагового процесса проектирования;
4. поиска стратегии порождения новых вариантов при творческом анализе и проработке человеком-проектировщиком ряда полученных решений.

Таким образом, программное моделирование в сочетании с методами исследования ПМ и средствами обработки статистических данных об исследуемом объекте, в ходе которого учитывается опыт специалиста-проектировщика, а также с методами и средствами поиска оптимума исследуемого объекта в результате обработки накопленных статистических данных об исследованных моделях и порождением новых вариантов, становится активным и необходимым средством в процессе проектирования ЦВМ.

Итак, под активным программным моделированием (АПМ) будем понимать такое моделирование, которое позволяет осуществлять анализ моделируемого объекта на основе собранной статистики о модели и обработку этих данных по соответствующим программам с целью выработки рекомендации по совершенствованию в определенном смысле как самой модели, так и моделируемого объекта.

Система ПМ позволяет получить оценки по интересующим исследователя параметрам x_1, x_2, \dots, x_n (например, загрузка основных устройств ЦВМ в ходе выполнения определенных программ, эффективное быстроедействие ЦВМ и т.д.). Назовем зависимость $f(\bar{x})$ целевой функцией (ЦФ). Совокупность допустимых значений параметров x_i назовем областью определения ЦФ. Вычисление значений ЦФ производится относительно параметров, характеризующих изучаемую структуру ЦВМ. Обычно результаты вычисления ЦФ на ПМ представляются в форме таблиц и графиков. Такое представление не является достаточным для использования получаемых результатов с целью решения задачи интерпретации и экстраполяции (прогнозирования) организации ЦВМ. В связи с этим необходимо пред-

ставление ЦФ в такой форме, чтобы раскрыть степень влияния каждого параметра (x_1, x_2, \dots, x_n) и их взаимосвязей на аналитическом языке.

В качестве одной из основных предпосылок по решению проблемы активизации эксперимента на программной модели ЦВМ группой сотрудников кафедры вычислительной техники МЭИ (Шигинин А.Г., Дорошенко А.И. и Дзегеленко И.И.) в 1965 г. была выдвинута гипотеза о возможности использования известных методов факторного планирования экспериментов [6].

Для случая, когда ЦФ зависит от параметров, которые имеют непрерывные значения в заданной области изменения, целесообразно представить ЦФ в виде уравнения регрессии:

$$Z(\bar{x}) = \delta_0 + \sum_{i=1}^n \delta_i x_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \delta_{ijk} x_i x_j x_k + \dots + \delta_{1,2,\dots,n} \prod_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Если предположить, что восстановленное таким образом аналитическое выражение ЦФ в виде уравнения регрессии (1) имеет один и только один локальный экстремум, то возможно задать новый шаг на постановку следующей серии экспериментов. Данный итерационный процесс приближения к экстремуму ЦФ представляет собой известную процедуру Бокса-Уилсона.

В опубликованной в 1967 г. работе [5] рассмотрены основные теоретические вопросы основанной на применении теории факторного планирования эксперимента методики определения математического описания узла (устройства) ЦВМ, структура которого задана. В этой работе рассматривается также такая методика, при которой некоторые параметры исследуемой системы принимают только дискретные значения (0 или 1). В этом случае целесообразно задавать целевую функцию в логико-аналитической форме. Процедура поиска оптимального варианта представляется в виде многошагового итерационного процесса. При определенных условиях имеются принципиальные возможности сокращения поиска оптимального варианта решения, т.е. усечения полного перебора.

Экспериментальная проверка этого метода была осуществлена при исследовании возможности совершенствования структуры ЦВМ БЭСМ-4, а также при разработке некоторых узлов и устройств ЦВМ на пороговых и мажоритарных элементах. Полученные результаты показали перспективность этого метода. В настоящее время эта работа продолжается на исследовании сложноорганизованных систем.

В 1966 году на кафедре вычислительной техники МЭИ была начата разработка методов принятия объективно обоснованных решений при установлении причинно-следственных взаимосвязей как на ПМ, так и при обработке статистики о функционировании реально действующих ЦВМ. Эти методы ориентированы на необходимость учета дискретных параметров среды. Они используют адаптивную идентификацию образов с учетом как нелинейности, так и нестационарности среды и усечением переборов в процессе формально-логического вывода математической модели, отражающей механизм изучаемого явления. Синтезируемая математическая модель устанавливает причинно-следственные взаимосвязи между интересующими исследователя параметрами. Установление такого рода взаимосвязей основано на предварительном разбиении рассматриваемых вариантов возможных решений на два класса (благоприятных и неблагоприятных решений) с их последующим взвешиванием (идентификацией). Это позволяет синтезировать математическую модель отображения ПМ, которая представляет исследуемый объект на достаточно простом аналитическом языке [7].

Применение методов распознавания образов дало возможность представить выполнение определенных этапов проектирования ЦВМ в виде установления причинно-следственных связей на множестве вариантов ПМ с последующей обработкой статистики по заданному критерию качества. В связи с этим были разработаны специальные методы и алгоритмы формализации этого процесса. Эти методы могут быть представлены в следующем порядке:

а) Предварительная обработка собранной статистики о причинно-следственных связях с целью отбора наиболее информативных вариантов [8].

б) Получение собственно математической модели на основе обработки статистики, в процессе которой учитывается опыт специалиста [9].

в) Обобщение опыта специалиста, осуществляющего многошаговый процесс проектирования, в виде соответствующей математической модели для прохождения новых вариантов.

Разработанные методы были проверены на ряде практических задач [10, 11].

Использование активного программного моделирования в процессе проектирования на различных этапах в сочетании с методами синтеза может существенно улучшить организацию и результаты проектирования ЦВМ.

1. Г.Р. ФИРДАН, Ю.И. ШЕНДЕРОВИЧ. К вопросу о методике проектирования цифровых вычислительных машин. Семинар "вопросы теории электронных цифровых математических машин" Киев, 1967, вып.2.
2. Применение вычислительных машин для проектирования цифровых устройств. Об. статей под ред. Н.Я. Матюхина. М., Советское радио, 1968.
3. А.Н. ДОРОШЕНКО, А.Г. ШИГИН. Исследование и оптимизация программных моделей структур ЦВМ методом планирования экспериментов. Доклады У Межвузовской конференции по физ. и матем. моделированию. М., МЭИ, 1968, № 12.
4. И.И. ДЗЕГЕЛЕНКО, А.Г. ШИГИН. Применение активных алгоритмов распознавания образов при построении математической модели ЦВМ типа алгоритм-структура (Там же).
5. И.И. ДЗЕГЕЛЕНКО, А.Н. ДОРОШЕНКО, А.Г. ШИГИН. К вопросу о возможности построения оптимальных структур ЦВМ методом факторного планирования экспериментов. Доклад ИТН МЭИ по итогам НИР за 1966-1967 г. Секция автоматики, вычислительной и измерительной техники. М. МЭИ, 1967.
6. В.В. НАЛИМОВ, Н.А. ЧЕРНОВ. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М., "Наука", 1965.
7. И.И. ДЗЕГЕЛЕНКО, А.Г. ШИГИН. Порождение прогнозирующего фильтра на программной модели ЦВМ. Настоящий сборник, стр. 114-128.
8. И.И. ДЗЕГЕЛЕНКО. Способы отыскания локальных экстремумов на математической модели ЦВМ. Доклады У Межвузовской конференции по физ. и матем. моделированию. М., МЭИ, 1968 № 12.
9. И.И. ДЗЕГЕЛЕНКО, М. РУСЕНКЕВИЧ, А.Г. ШИГИН. Активные алгоритмы обучения автоматов распознаванию образов. Доклады международной конференции "Теория автоматов и искусственное мышление". Ташкент, 1968.
10. В.Г. ПОПОВ и др. Опыт применения ЭЦВМ при оценке исходов повторных инфарктов миокарда. Кардиология, 1968, № 10.
11. И.И. ДЗЕГЕЛЕНКО, В. КУБЭРА, В.Г. ПОПОВ, А.Д. СЫРКИН, А.Г. ШИГИН. Эксперименты на эвристической программе "консилиум" коллектива А-автоматов. Настоящий сборник, стр. 129-138.

Поступила в редакцию
10.1.1969 г.