

И.И.Сергеев, Л.И.Белов, В.И.Горбаченко, С.Н.Катков,
И.И.Баусова, В.В.Осипов, Г.Ф.Убиенных

ЦИФРОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТА НА БАЗЕ СЕТОЧНОЙ МОДЕЛИ

(П е н з а)

В системах обработки экспериментальной информации о физических полях часто требуется производить пересчет поля по экспериментально полученным параметрам, т.е. по результатам замера параметров в отдельных точках получать значения параметров в других точках поля, в которых невозможно или нецелесообразно производить измерения. Использование для пересчета полей ЦВМ встречает серьезные трудности вследствие очень большого объема вычислений, сложности пересчета полей в неоднородных средах, при сложной конфигурации граничной поверхности и т.д. От этих недостатков ЦВМ созданы сеточные модели. Однако вследствие большой трудоемкости задания параметров модели и съема решения сеточные модели не могут быть использованы в составе автоматизированных систем обработки экспериментальных данных. Для обмена информацией между сеточной моделью и системой измерения параметров поля, с одной стороны, и ЦВМ и экспериментатором, с другой, необходимо автоматизировать сеточную модель, сделать задание параметров модели и съем решения управляемыми цифровой машиной.

Другим важным направлением использования сеточных моделей является исследование математических моделей объектов. Такое исследование может быть применено для разработки алгоритма управления экспериментом по исследованию физических полей. Наконец, очень часто исследование поля реального объекта заменяется экспериментальным с математической моделью объекта, для чего успешно применяются сеточные модели. Перечисленные применения сеточных моделей при уменьшении трудоемкости решения, удобства вариации параметров математической модели и повышения оперативности обработки результатов моделирования также требуют автоматизации моделирующей сетки. Обработка экспериментальных данных и исследование моделей требуют построения сеточных моделей большого объема, содержащих десятки тысяч узловых точек. Для столь крупных моделей при нынешнем уровне развития технологии не удается автоматизировать наиболее

лее трудоемкую операцию - набор сопротивлений сеточной модели. Ручные операции могут быть сведены к минимуму и в принципе полностью исключены при алгоритмическом использовании моделирующей сетки, когда для получения решения применяется итерационный процесс.

Рассмотрим итерационный алгоритм работы автоматизированной сеточной модели. Различные расчеты физического поля сводятся к решению краевых задач математической физики. Пусть, например, ищется потенциальное поле в трехмерной неограниченной среде описываемое уравнением

$$\operatorname{div} \operatorname{grad} U = 0$$

с граничными условиями общего вида

$$U + a \frac{\partial U}{\partial n} = f.$$

На сеточной модели решается система алгебраических уравнений

$$AU = F, \quad (1)$$

аппроксимирующая исходное уравнение. В таком итерационном цикле цифровой части автоматизированного комплекса "сетка-ЦВМ" вычисляется вектор невязки:

$$R^{(k)} = F - AU^{(k-1)} \quad (2)$$

и строится вектор

$$\delta^{(k)} = \delta^{(k-1)} + R^{(k)}, \quad \delta^{(0)} = 0. \quad (3)$$

Вектор $\delta^{(k)}$ в виде тока задается в узловые точки сетки, по которой формируется новое приближение решения:

$$U^{(k)} = B^{-1} \delta^{(k)} = (E - B^{-1}A)U^{(k-1)} + B^{-1}F, \quad (4)$$

где $B = m_g G$, m_g - масштаб по проводимости;
 G - матрица, описывающая сетку.

Причем, $B \neq A$ из-за умышленного неточного набора сопротивлений сетки. Аналитическое исследование алгоритма с применением аппарата линейной алгебры позволило определить величины параметров сетки, гарантирующие сходимость итерационного процесса. Но аналитические методы не позволяют определить количественные характеристики итерационного процесса, в частности, количество итераций необходимых для решения задачи с заданной точностью. Вследствие

большого объема аппаратуры макетирование возможно только на уровне отдельных элементов и узлов, а не сетки в целом, что необходимо для исследования алгоритмов. Поэтому на этапе проектирования целесообразно использовать цифровое моделирование работы сеточной модели. Такое моделирование заключается в имитации на ЦВМ работы автоматизированной сеточной модели, объединенной с цифровой вычислительной машиной в комплексе "сетка-ЦВМ". Имитация работы цифровой части комплекса заключается в воспроизведении алгоритмов цифровой обработки информации в комплексе: расчет параметров аппроксимирующей системы (1), расчеты векторов $R^{(k)}$ (2) и $\delta^{(k)}$ (3), масштабирование переменных. При моделировании работы специализированных машин может возникнуть необходимость программной имитации некоторых аппаратных преобразований информации. Формирование вектора приближения решения (4) на сеточной модели имитируется численным решением системы уравнений, описывающих модель:

$$BU^{(k)} = \delta^{(k)}. \quad (5)$$

Решением на ЦВМ системы уравнений (5) для реальной сеточной модели представляет большую сложность. Поэтому в качестве контрольных задач приходится брать, как правило, методические задачи, которые можно решать с приемлемыми затратами времени на используемых ЦВМ. В частности, в данной работе использовались в качестве контрольных двумерные задачи с известным аналитическим решением, описывающие плоскопараллельные поля.

Аппаратура реальной сеточной модели функционирует в условиях действия большого числа случайных факторов: погрешности элементов модели системы объема решения, внешние наводки и т.д. Поэтому цифровая модель сетки в строгой постановке должна быть стохастической. Однако из-за больших затрат машинного времени реализовать стохастическую модель обычно не удается и реализуется детермированная модель. Учитывая линейный характер математического описания сетки, можно показать, что при отсутствии систематических ошибок результаты, полученные на детермированной модели, будут совпадать с математическим ожиданием результатов стохастического моделирования. Моделирующая программа состоит из отдельных блоков, воспроизводящих расчеты в цифровой части комплекса "сетка-ЦВМ", имитирующих погрешности преобразования информации и работу сеточной модели. Общее управление работой программ осуще-

ствяет управляющая программа. Программа реализована на ЦВМ М-22. При моделировании возможно изменение параметров сеточной модели в частности, величины сопротивлений сетки и разрядности преобразователей информации. Возможны также некоторые видоизменения алгоритма работы сетки. При моделировании работы сетки основное внимание было уделено проверке результатов теоретических исследований алгоритма и анализу возможностей упрощения набора сопротивлений сетки, сводящего к минимуму ручные операции. Для этого имитировалось решение контрольных задач на сетке с точно набранными сопротивлениями и исследовалось влияние точности набора сопротивлений сетки на число итераций, необходимых для решений задач с заданной точностью.

Результаты экспериментов подтвердили теоретические исследования сходимости алгоритма. Установлено, что скорость сходимости итерационного процесса существенно зависит от точности задания сопротивлений сетки. Так, количество итераций сокращается на порядок при применении приближенного набора граничных сопротивлений сетки по сравнению с решением на постоянных сетках. Однако практически приемлемые результаты (50 итераций) получаются и при использовании постоянных сеток, исключая ручной набор сопротивлений. Для достижения точности решения порядка одного процента необходимы десятиразрядные преобразователи "код-ток" и "напряжен-код". Таким образом, результаты теоретического и экспериментального исследований показывают перспективность применения итерационных алгоритмов работы сеточных АВМ при автоматизации обработки экспериментальной информации. При относительно небольшом объеме сеточной модели (порядка нескольких тысяч узловых точек) наряду с описанным алгоритмом, использующим формирование решения в сеточной модели, можно применять итерационный алгоритм с формированием решения в ЦВМ. Здесь сеточная модель служит только для получения поправок к решению, что позволяет получить точность, принципиально ограниченную лишь разрядностью ЦВМ.