

Академик АН УССР Г. Е. ПУХОВ, В. Ф. ЕВДОКИМОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ НЕАЛГОРИТМИЧЕСКИХ МАШИН ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Цифровые неалгоритмические машины (ЦНМ) могут весьма эффективно применяться для решения разнообразных задач, к числу которых можно отнести системы алгебраических и обыкновенных дифференциальных уравнений, уравнения в частных производных, интегральные уравнения и т. д. В настоящей работе рассмотрено одно из возможных применений ЦНМ для решения систем дифференциальных уравнений, которые в матричной форме имеют вид

$$\frac{dX}{dt} = A(X)X = F. \quad (1)$$

Неалгоритмичность ЦНМ позволяет использовать для решения тех или иных задач хорошо разработанные и успешно применяемые в аналоговой вычислительной технике методы, суть которых сводится к тому, что ре-

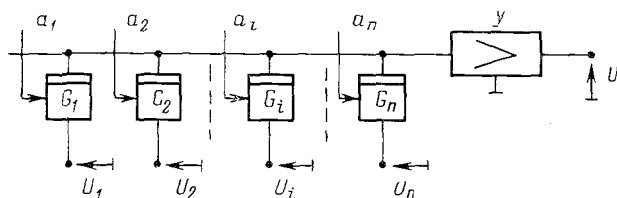


Рис. 1. Устройство для получения суммы парных произведений

шающие элементы, предназначенные для реализации отдельных операций, соединяются между собой в соответствии с видом исходной решаемой системы уравнений и решение задачи осуществляется путем их взаимодействия.

Рассмотрим, например, устройство для получения суммы парных произведений

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i + \dots + a_nx_n, \quad (2)$$

блок-схема которого приведена на рис. 1. G_i представляют собой лептотные резистивные матрицы, подробно описанные в ⁽¹⁾, коэффициенты их настроены пропорционально соответствующим разрядам чисел a_i , блок Y включает в себя устройства переноса и набор операционных усилителей по числу разрядов переменных решаемой задачи. На входы матриц G_i подаются векторы напряжений U_i , представляющие в машине соответствующие переменные x_i , при этом на выходе устройства образуется вектор напряжений U , представляющий в машине результат операции (2) y .

Для реализации операции

$$y = \int (a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_ix_i + \dots + a_nx_n) dt \quad (3)$$

в рассмотренном устройстве резистивные матрицы G_i заменяются емкостными с ключами ⁽¹⁾, при этом осуществляется интегрирование суммы парных произведений по времени. В случае, если в выражении (2) или (3)

коэффициенты a_i являются некоторыми функциями переменных,

$$a_i = f(x_i),$$

соответствующие матрицы G_i делаются управляемыми векторами напряжений U_i , представляющих в машине x_i .

На рис. 2 приведена схема устройства для решения системы трех уравнений вида (1), построенная по типу матричной аналоговой модели, предназначенной для решения тех же уравнений. Здесь G_{ij} представляет собой емкостные матрицы с ключами, блоки Y_i , как и в схеме рис. 1, включают в себя устройства переноса и набор операционных усилителей по числу разрядов переменных x_i . Набор ключей K_{ij} замыкается в положении 1 либо 2 в зависимости от знака a_{ij} , а коэффициенты матриц G_{ij} построены про-

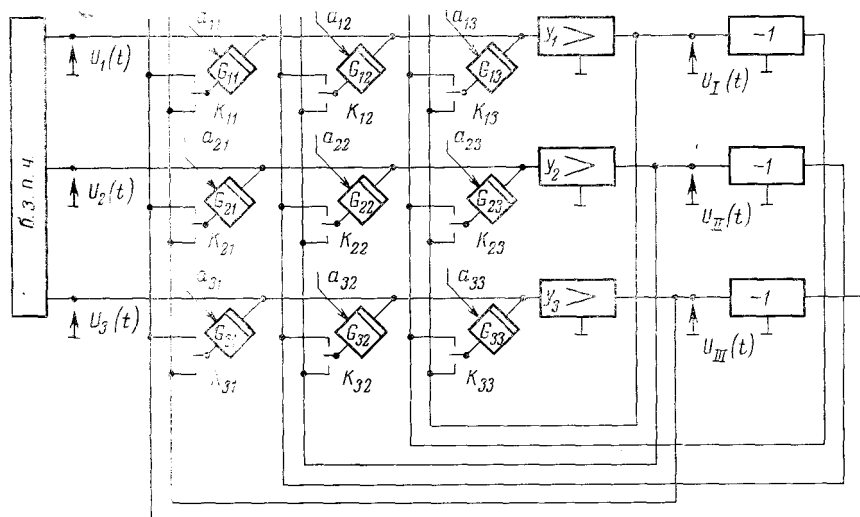


Рис. 2. Устройство для решения систем дифференциальных уравнений

порционально соответствующим разрядам произведения $\Delta t a_{ij}$ (Δt — такт работы машины), подобно тому как это делалось при построении интеграторов (1). Из блока задания правых частей (б.з.п.ч.) на вход устройства поступают векторы напряжений $U_I(t)$, $U_{II}(t)$, $U_{III}(t)$, представляющие в машине соответствующие компоненты вектора правых частей системы уравнений (1) на каждом шаге дискретизации по времени Δt ; при этом на выходе устройства образуются векторы напряжений $U_I(t)$, $U_{II}(t)$, $U_{III}(t)$, представляющие в машине компоненты вектора неизвестных x_i .

Если какой-либо из коэффициентов a_{ij} матрицы A зависит от компонент x_i вектора неизвестных X , то соответствующая матрица емкостей G_{ij} делается управляемой, т. е. такой, что ее коэффициенты зависят от вектора напряжений U_i , представляющего в машине x_i . Если в каком-либо из уравнений системы (1) отсутствует производная переменной по времени, т. е. система включает в себя алгебраическое уравнение, то в соответствующей i -й строке рассматриваемого устройства емкостные матрицы G_{ij} заменяются резистивными, при этом в данной строке реализуется операция (2). Отметим также, что предлагаемое устройство может применяться для решения и некоторых систем алгебраических уравнений вида

$$A(X)X = F,$$

в этом случае все матрицы G_{ij} должны быть резистивными.

Рассмотренный способ решения дифференциальных уравнений посредством ЦНМ является достаточно общим, так как к виду (1) приводятся

любые системы дифференциальных уравнений и отдельные уравнения высокого порядка, однако иногда, в частности при моделировании систем автоматического регулирования и управления, возникает необходимость в так называемой структурной реализации систем дифференциальных уравнений. В этом случае необходимо иметь набор решающих элементов ЦНМ, реализующих отдельные операции, и соединять их между собой в соответствии с структурой моделирующей системы. В работе ⁽¹⁾ показаны принципы построения таких решающих элементов.

Процесс подготовки задач к решению на ЦНМ осуществляется подобно тому, как это делается в аналоговой вычислительной технике, т. е. по максимальным значениям переменных решаемой задачи рассчитываются масштабные коэффициенты, по которым определяются значения машинных коэффициентов, устанавливаемых затем в машине. Установка машинных коэффициентов осуществляется либо вручную, либо автоматически, причем каждая из проводимостей матрицы G_{ij} может принимать только целые значения, меньшие оснований системы счисления, в которой работает машина, что существенно упрощает процесс установки коэффициентов и его автоматизацию по сравнению с тем, как это делается в АВМ.

Применение рассмотренных ЦНМ для решения дифференциальных уравнений существенно расширяет частотный диапазон получаемых результатов по сравнению с существующими ЦВМ и увеличивает точность по сравнению с АВМ.

Институт электродинамики
Академии наук УССР
Киев

Поступило
27 VII 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. Е. Пухов, В. Ф. Евдокимов, ДАН, 208, № 2 (1973).