УДК 519.6

Э. Б. АЙНАКУЛОВ, кандидат технических наук, А. А. ХАЛИКОВ, доктор технических наук, Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта (Узбекистан)

СИНТЕЗ АНАЛИТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Задачи математического анализа очень разнообразны и бывают как простыми, сводящимися к табличным, так и сложными, не выражающимися через элементарные функции.

В связи с этим возникает необходимость создания аналитических вычислительных устройств матричного (табличного), операционного (алгебраического) и матрично-операционного типов.

Принципы и методы синтеза аналитических устройств. В основу синтеза аналитических устройств (АНВУС) положены следующие принципы: корректные формы представления аналитических задач в вычислительном устройстве, создание вычислительных устройств, способных воспринимать и перерабатывать символьную информацию, и расширение традиционного набора команд [1, 2]. Синтез можно проводить по матричному, операционному, матрично-операционному и программно-аппаратному методам и соответственно получать матричные, операционные, матрично-операционные и программно-аппаратные аналитические вычислительные устройства.

Матричные структуры работают на табличном принципе, т. е. решение аналитической задачи в них заключается в определении соответствия между задачей и результатом решения. Процедура матричного (табличного) решения состоит из распознавания образов входных задач и установления связи между задачей и ее готовым решением. Распознавание образов ведется с помощью алгебры векторной логики [3–8].

Операционные аналитические вычислительные структуры являются алгебраическими устройствами, дополненными блоками, ответственными за операции математического анализа. Они допускают решения задач анализа в символьных видах в калькуляторном (ручном) и автоматическом режимах. Автоматическое решение аналитических задач сводится к процедурам распознавания и вычисления, осуществляемым устройствами распознавания, матричными вычислителями и преобразователями, арифметическими и алгебраическими процессорами и устройствами микропрограммных и программных управлений. Автоматизм решений обеспечивается библиотекой программных и микропрограммных управлений, выбираемых сигналами, формируемыми устройствами распознавания образов решаемых задач. Универсализм устройства заключается в том, что если некоторая задача, для которой нет программы-заготовки решения в ВС, но которая в принципе алгоритмически разрешима, то её можно решать с помощью ручного программирования, как это зачастую решается в настоящее время.

Более того, универсальное АНВУС предусматривает автономные режимы работы, а именно арифметический и алгебраический.

Операционные аналитические вычислительные структуры обладают свойством универсальной вычислимости, так как любая сложная входная задача редуцируется до совокупности простых операций, реализующихся набором машинных команд.

Матрично-операционные аналитические вычислительные структуры являются более гибкими в функциональном отношении: когда надо, входная задача решается матрично-табличным способом; когда же входная задача не имеет табличного решения, то она решается операционно-алгебраическим способом.

Программно-аппаратный метод построения аналитических вычислительных структур позволяет упрощать схемы построения, не усложняет, но замедляет процедуру автоматического решения задач.

Данная вычислительная структура не рассматривается как застывшая и неизменяемая. Наращивание вычислительной мощности АНВУС предполагается осуществлять на принципе сменяемости библиотеки программных и микропрограммных управлений, выполненной аппаратными средствами.

Формирование признаков аналитических задач. Чтобы аналитическое устройство могло выполнить распознавание образа входной задачи, для неё необходимо представить их основные признаки [3]. В качестве таковых приняты: вид исчисления (арифметическое, алгебраическое и аналитическое), цели задачи (решить, вычислить, упростить, доказать и т. д.), операция или операции (сложить, умножить, продифференцировать, проинтегрировать и т. д.), класс функции (тригонометрический, логарифмический, степенной и т. д.), вид функции ($f(x) = a^x$, $f(x) = x^n$, $f(x) = \log_b a$ и т. д.), аргумент (x, y, z, t, ω ...). В аналитическое устройство признаки заносятся кодами.

Для удобства оперирования признаками придадим им условные обозначения: *и* – исчисление, *з* – задача, *о* – операция, *к* – класс функций, *ф* – функция, *а* – аргумент функции. Заметим, что признаки аналитических задач имеют векторно-логическое содержание [3, 7, 8], а потому, где удобно, операции над признаками будем проводить как над векторами $\vec{и}, \vec{з}, \vec{о}, \vec{к}, \vec{ф}, \vec{а}$.

Распознавание образа входной задачи, осуществляемое по методу формирования образов, выполняется логической моделью

$$\theta = |\vec{и}| \wedge |\vec{з}| \wedge |\vec{о}| \wedge |\vec{к}| \wedge |\vec{ф}| \wedge |\vec{а}|,$$

где θ – образ задачи; $|\vec{и}|, |\vec{з}|, ..., |\vec{а}|$ – модули векторов логических переменных.

Распознавание образа входной задачи по методу сравнения описывается моделью

$$\theta = \{\vec{и} \wedge \vec{И}, \vec{з} \wedge \vec{З}, \vec{о} \wedge \vec{О}, ..., \vec{а} \wedge \vec{А}\},$$

где $\vec{И}, \vec{З}, \vec{О}, \vec{К}, \vec{Ф}, \vec{А}$ – векторные признаки задачи, образ которой аналогичен образу входной, которые находятся в памяти аналитического устройства или базе данных.

Распознавание образа входной задачи, проводимое по методам формирования и сравнения, выражается моделью

$$\theta = (\vec{и} \wedge \vec{И}) \wedge (\vec{з} \wedge \vec{З}) \wedge ... \wedge (\vec{а} \wedge \vec{А}). \qquad (1)$$

Модель (1) указывает на то, что если конъюнкция скалярных произведений векторов входной задачи с векторами аналогичной задачи, хранимыми в памяти, не равна 0, то распознавание образа свершилась, в противном случае – нет.

Методика организации машинных аналитических вычислений. В базовый набор команд АНВУС принимаются все команды арифметического и алгебраического процессоров, дополненные командами матричного дифференцирования и интегрирования функций, операциями над функционалами и операторами и др.

Матричное дифференцирование и интегрирование простых функций. Программные табличные решения, исследованные Хамби, лежат в основе всех машинных решений. В данной работе под машинным решением понимаются аппаратные средства реализации вычислений при микропрограммном управлении. Обозначим операции табличного дифференцирования и интегрирования соответственно через <ТД> и <ТИ>. Тогда машинные команды для этих операций применительно к функции $f(x)$ запишутся таким образом: <ТД> $f(x)$, <ТИ> $f(x)$.

Символы <ТД> и <ТИ> можно заменить на привычные d и $\int$, что будет очень удобно пользователям при составлении программ решения задач в символьных видах.

Взятие дифференциала или интеграла от сложной функции машинным путем сводится к процедурам распознавания образа задачи и подбора соответствующего решения или алгоритма формирования последнего, которые заготовлены априорно или обучением.

Преобразования по Лапласу и Фурье. Существует множество задач в математическом анализе, решения которых проводят через преобразования Лапласа, облегчающие решения. В этом плане есть смысл, чтобы АНВУС также имели в наборе своих команд команды, ответственные за операторные преобразования функций. К таким операциям следует отнести: прямое и обратное преобразования по Лапласу, прямое и обратное преобразования по Фурье и др.

Введём условные обозначения для указанных преобразований: <ППЛ> – прямое преобразование Лапласа, <ОПЛ> – обратное преобразование Лапласа, <ППФ> – прямое преобразование Фурье, <ОПФ> – обратное преобразование Фурье. Машинные команды примут формы: <ППЛ>$f(x)$, <ОПЛ>$F(x)$, <ППФ>$f(x)$, <ОПФ>$F(x)$.

Техническими операторами преобразований по Лапласу и Фурье являются матричные устройства табличного действия.

Вычисления значений функций. Операцию вычисления функции выразим через “ = ?”. Наряду с этой символикой будем использовать и другую, ($Bf(a)$), которая выражает команду: найти значение функции $f(x)$ при $x = a$.

Набор команд машинного анализа. Рассмотренные машинные операции составляют минимальный набор, с помощью которого можно проводить машинные решения задач дифференциального и интегрального исчисления. Все они сведены в таблицу 1. Кроме них, в таблице имеются операции распознавания образа решаемой задачи. Они выражены символикой <РО>.

Распознавание образов является сложной операцией и состоит из совокупности операций распознавания отдельных признаков. В связи с этим операцию распознавания признака задачи целесообразно выражать самостоятельными символами <РП> или символом «деш» – дешифрация. Так, например, «деш *и*» или <РО> означают операцию распознавания образа задачи по признаку «*и*».

Таблица 1 – **Основные команды машинного математического анализа**

Наименование команды (операции)	Символ команды	Форма записи команды	Примечание
Распознавание образа выражения, задачи и т. п.	<РО>	<РО>θ <РО>$f(x)$	<РО>θ → θ = ... <РО>$f(x)$ → (напр.) sin x
Вычислить значение функции, задачи и т. п.	<В>	<В>$f(a)$ f(a)=?	Обе формы записи идентичны и имеют единое кодовое обозначение
Найти дифференциал от элементарной функции	<ТД>	<ТД>$f(x)$	<ТД>$f(x) \to f(x)$
Найти интеграл от элементарной функции	<ТИ>	<ТИ>$f(x)$	<ТИ>$f(x) \to F(x) + C$
Найти дифференциал от сложной функции	<СД>	<СД>$f(x)$	<СД>$f(x) \to$
Найти интеграл от сложной функции	<СИ>	<СИ>$f(x)$	<СИ>$f(x) \to$
Преобразование по Лапласу (прямое)	<ППЛ>	<ППЛ>$f(x)$	<ППЛ>$f(x) \to$
Преобразование по Лапласу (обратное)	<ОПЛ>	<ОПЛ>$F(x)$	<ОПЛ>$F(x) \to f(x)$
Преобразование по Фурье (прямое)	<ППФ>	<ППФ>$f(x)$	<ППФ>$f(x) \to F(x)$
Преобразование по Фурье (обратное)	<ОПФ>	<ОПФ>$F(x)$	<ОПФ>$F(x) \to f(x)$
Возьмем произвольную переменную	:=	$d{:=}x$	x – произвольная переменная
Возьмем произвольное выражение	:=	$d{:=}Y{=}f(x)$	$Y = f(x)$ – произвольное выражение
Заменить числа на буквы	=	$n \in D := a, b, c$	D – область действительных чисел

В набор команд введем и такие, которые необходимы для решения дифференциальных уравнений: $d := x$ – взятие произвольной величины x, $d := Y = Q(x)$ – взятие произвольной функции, равенства, выражения и т. п., $n \in D := a, b, c$ – замена числовых значений на буквенные, $(a, b, c) \in Q(x)$ – подстановка значений a, b, c в $Q(x)$, a, b, c =?, если $(a, b, c) \in P(a, b, c, x, x^2 ...)$ – вычислить a, b, c из равенства $P(a, b, c, x, x^2 ...)$.

Список литературы

1 Матричные аналитические вычислительные структуры (теоретико-конструктивный аспект) / Т. Ф. Бекмуратов [и др.] // Проблемы информатики и энергетики. – 1993. – № 2. – С. 3–5.

2 Алгебраические и аналитические вычислительные структуры / Т. Ф. Бекмуратов [и др.] // Проблемы информатики и энергетики. – 1994. – № 1. – С. 3–8.

3 **Айнакулов, Э. Б.** Конструктивная теория синтеза алгебраических решающих вычислительных структур / Э. Б. Айнакулов, М. Ли-фан. – Ташкент : ГФНТИ, 2001. – 174 с.

4 **Aynakulov, E. B.** Principles of Analysis of Algebraic Structures // Fifth International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing. ICAFS – 2002. September 17–18, 2002. – Milan, Italy, 2002. – P. 203–206.

5 **Aynakulova, T. S.** Synthesis of Algebraic Devices / T. S. Aynakulova, B. S. Utabaev, E. B. Aynakulov // International Conference on IT Promotion in Asia 2007 in conjunction with International Summit on Information and Communication Technologies. September 24–28, 2007. – Tashkent : University of IT Tashkent, Uzbekistan, 2007. – P. 236–242.

6 **Айнакулов, Э. Б.** Синтез алгебраических структур и систем / Э. Б. Айнакулов // Проблемы информатики и энергетики. – 2005. – № 1. – С. 68–73.

7 **Aynakulov, E. B.** Algebra of vector logic / E. B. Aynakulov // First International Conference on Soft Computing and Computing with Words in System Analysis, Decision and Control. ICSCCW 2001. June 6–8, 2001. – Antalya, Turkey, 2001. – P. 343–346.

8 **Айнакулов, Э. Б.** Векторная логика / Э. Б. Айнакулов // Транспорт Евразии. Взгляд в XXI век : материалы междунар. науч.-практ. конф., 16–17 октября. Т. 3. – Алматы, 2002. – С. 164–167.

Получено 29.09.2009

E. B. Ainakulov, A. A. Halikov. Synthesis of analytical devices.

The problems of mathematical analysis are very diverse and can be either simple, reduced to tabular, or complex, not expressed through elementary functions.

In this regard, there is a need to create analytical computing devices of matrix (tabular), operational (algebraic) and matrix-operational types.