

### АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СЛОЖНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОБЛЕМНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ САВ

Решение в символьном виде ценно тем, что оно дает не одну траекторию, а целое семейство с их явной зависимостью от параметров. В некоторых случаях представление численных результатов для большого числа траекторий в символьном виде является более удобным. Аналитическая запись результатов позволяет проводить качественный анализ полученных решений.

Символьное представление результата с явной зависимостью от параметров, характеризующих явление, облегчает сравнение расчетов с экспериментом. САВ так же дает возможность легко преобразовывать выражения от одних переменных к другим и приводить их к желаемому виду.

Однако, даже если символьными вычислениями удастся пройти все нужные этапы все равно необходимо найти численные значения полученного решения. Этот шаг требует эффективных алгоритмов, поэтому возникает вопрос о совместном использовании символьных и численных методов.

Аналитическое проектирование систем автоматического управления в настоящее время включает в себя два основных направления:

1) разработка новых методов проектирования сложных динамических систем, позволяющих учитывать такие особенности САУ, как многомерность, многосвязность, многотактность, нелинейность, нестационарность;

2) создание вычислительных алгоритмов, реализующих на ЭВМ известные методики проектирования, и расширение области их применения за счет повышения точности расчетов, комплексного подхода к программному обеспечению, наглядности и доступности его использования.

Связь этих направлений заключается в том, что новые методы, как правило, разрабатываются с учетом возможности их машинной реализации, а вычислительные алгоритмы могут быть предложены лишь для тех методов, которые являются достаточно формализованными и ориентированными на возможности современных широко распространенных ЭВМ и их программного обеспечения.

Вместе с тем существует ряд методов анализа и синтеза САУ, предполагающих аналитические преобразования с несколькими независимыми переменными, которые в настоящее время не получили развития из-за ограничений на их численную реализацию на ЭВМ.

Схожие проблемы возникают в математике, физике, и одним из путей их решения сегодня является использование систем аналитических вычислений (САВ). В свою очередь, САВ предполагают два подхода к проблеме организации аналитических вычислений на ЭВМ с сохранением в промежуточных и результирующих расчетах интересующих проектировщика переменных:

- 1) использование и создание специальных алгоритмических языков;
- 2) разработка на традиционных алгоритмических языках формальных процедур, обеспечивающих необходимый состав операций над математическими объектами аналитического вида.

Более перспективным и гибким в рассматриваемой предметной области представляется второй подход, который предполагает решение следующих задач:

- 1) определение состава математических объектов, над которыми необходимо выполнять операции. В алгебраических методах пространства состояний такими объектами являются полиномы и полиномиальные матрицы нескольких независимых переменных.

- 2) установление перечня операций, необходимых для получения требуемого результата;

- 3) выбор способов представления исходных объектов и формализация процедур их обработки в соответствии с перечнем операций. Эта задача является наиболее существенной, так как от ее решения зависит:

- количество независимых переменных, допускаемых в исходных, промежуточных и результирующих выражениях;

- необходимые вычислительные ресурсы используемых типов ЭВМ (объем памяти и быстродействие);

- общее время машинных расчетов для получения конечного результата;

- удобство интерфейса, в смысле сложности кодировки и раскодировки исходной и результирующей информации, а также возможность выполнения этой функции ЭВМ.

Важным моментом является использование таких принципов представления, которые позволили бы выполнить дополнительные операции над объектами.

Успешное решение перечисленных задач дает возможность использовать преимущества традиционных методов анализа и синтеза САУ, обеспечивая их машинную реализацию, а также получать качественно новые результаты за счет модификации этих методов на основе машинно-аналитических расчетов.

Структура и принципы организации САВ не могут носить универсальный характер и, как правило, ориентируются на определенную предметную область. Это связано с тем, что объект и процедуры аналитических преобразований имеют специфический характер для различных задач, а применение САВ приводит к граничным режимам работы ЭВМ по быстродействию и требуемому объему памяти. При ориентации на задачи анализа и синтеза САУ алгебраическими методами пространства состояний объектом аналитических преобразований выступает полином (многочлен) нескольких независимых переменных. Таким образом, машинные процедуры должны обеспечить действия сложения, умножения и приведения подобных над полиномами нескольких независимых переменных. К этим же основным операциям сводятся процедуры действий над полиномиальными матрицами - сложение, умножение, транспонирование, обращение, раскрытие определителей.

Такая возможность появляется при использовании формализованных процедур организации вычислительного процесса над полиномами нескольких независимых переменных. Сущность предлагаемого подхода состоит в обработке по специальным алгоритмам данных, состоящих из связанных пар чисел. Первым числом является значение коэффициента при каждом слагаемом полинома-операнда, а вторым - число, в соответствующих разрядах которого записаны степени независимых переменных в установленной их последовательности.

Например, полином

$$P(X_1, X_2, \dots, X_m) = \sum_{i=0}^n A_i \prod_{j=0}^{n_j} X_1^{i_1} X_2^{i_2} \dots X_m^{i_m}$$

$l=0$   
 $\dots$   
 $d=0$

где  $X_1, X_2, \dots, X_m$  - независимые переменные, заменяется массивом данных, условно представляемых двумерной матрицей В размерностью

[2, n!].

Каждому  $i$ -му слагаемому полинома ставится в соответствие два числа  $B(1, i)$  и  $B(2, i)$  таких, что

$$B(1, i) = A_i 10^k,$$

где  $10$  - масштабный множитель;

$$B(2, i) = (k 10^m + j 10^{m-1} + l 10^{m-2} + \dots + d) 10^q$$

для  $j < 9; l < 9; \dots d < 9;$

или

$$B(2, i) = (k 10^{2m} + j 10^{2m-2} + l 10^{2m-4} + \dots + d) 10^q$$

для  $j < 99; l < 99; \dots d < 99.$

Здесь  $q$  - произвольное число, обеспечивающее представление операндов в пределах длины слова ЦВМ.

Такой принцип организации исходных массивов данных позволяет по достаточно простым алгоритмам и при незначительных затратах машинного времени осуществлять операции сложения (вычитания), умножения, дифференцирования над полиномами аналитического вида. В свою очередь это составляет основу операций сложения (вычитания), умножения, транспонирования, обращения матриц нескольких независимых переменных. Максимально допустимое число используемых переменных определяется размерностью задачи и длиной разрядной сетки вычислителя.

Из-за специфики алгоритмических языков отдельные процедуры, например формализованное описание математических моделей и представление результатов вычислений в традиционной для пользователя форме, удобнее выполнять на различных алгоритмических языках, используя отличающиеся принципы кодирования.

На определенных этапах вычислений это также дает возможность перехода к численным расчетам. Структура разработанной САВ для задач анализа и синтеза САУ алгебраическими методами пространства состояний представлена на рис.

Структура системы аналитических вычислений для анализа и синтеза САУ алгебраическими методами пространства состояний.

**Действия с полиномиальными матрицами**

Обращение

Умножение

Сложение (вычитание)

Транспонирование

Нахождение определителя

**Действия с полиномами**

Регуляризация

Умножение

Сложение (вычитание)

Приведение подобных

**Действия с массивами данных**

Кодирование

Декодирование

Переход к численным расчетам

Переименование

Удаление нулевых элементов

## Список использованных источников

1. Арайс Е. А., Яковлев Н. Е. Автоматизация аналитических вычислений в научных исследованиях. - Новосибирск: Наука, 1985. - 232 с.
2. Калинина Н. А., Поттосин И. В. Проблематика разработки систем аналитических преобразований на ЭВМ // Аналитические вычисления на ЭВМ и их применение в теоретической физике. - Дубна, 1980. с. 5-15.
3. Вартанян В. М., Ржемовский Л. В. Машинные процедуры аналитических вычислений в задачах теории управления. Деп. ГНТБ Укр. 17.06.93, N 1173, Ук. 93.
4. Вартанян В. М., Борушко Ю. М. Методическое, алгоритмическое и программное обеспечение действий над полиномами и полиномиальными матрицами нескольких независимых переменных. Харьков: ХМТЦИТИ, 1988. - 4 с.
5. Вартанян В. М., Таныгин С. И. Машинные процедуры структурного анализа многосвязных САУ // Материалы семинаров секции программного обеспечения систем управления и специализированных вычислительных устройств. - Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1991. с. 103-108.
6. Вартанян В. М., Несвоваль А. Г. Аналитическое исследование САУ ЛА современными методами // Авиационно-космическая техника и технология / Тр. Харьк. авиац. ин-та. - Харьков, 1994, с. 185-190.
7. Вартанян В. М. Анализ и синтез САУ на ЭВМ алгебраическими методами. - Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1994. - 48 с.
8. Борушко Ю. М., Вартанян В. М. Автоматизированный синтез САУ по областям заданного качества // Автоматика. - К., 1988, N 3, с. 65-67.
9. Вартанян В. М. Определение допусков параметров систем автоматического управления по областям качества // Сб. научных трудов "Исследования динамики транспортных систем на электромагнитной подвеске", Москва, 1988.
10. Вартанян В. М., Зотов В. Г., Борушко Ю. М. Машинный синтез дискретных нерекурсивных корректирующих алгоритмов с моделью для сложных динамических систем Деп. в ВИНТИ 05.07.89 N4451-B89
11. Вартанян В. М., Борушко Ю. М., Сысун А. И. Программные средства повышения точности машинных расчетов // Сб. научных трудов "Проблемы проектирования летающих моделей для исследования критических режимов полета", Харьков, 1989