

Библиографический список

1. Хог Э., Арора Я. Прикладное оптимальное проектирование.- М.:Мир, 1983. 479 с.
2. Системы автоматизированного проектирования: Учебное пособие для втузов/ Норенков И.П. Принципы построения и структура. Кн. I.-Л.:Высшая школа, 1986.-127 с.

УДК 681.3:519.6

В.С.Григорьев

ДИАЛОГОВАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫХ
ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ
НАБЛЮДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НАЛИЧИЯ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

(г. Томск)

При исследовании динамических систем и алгоритмов обработки наблюдений в задачах оптимального оценивания, управления и др. часто прибегают к имитации на ЭВМ поведения изучаемого объекта. Например, разработка процедуры оценивания текущего состояния некоторой технической системы для ответственного применения естественно включает в себя ее отработку на ЭВМ с целью адаптации к условиям использования. Это исследование представляет собой серию расчетов, в которых целенаправленно варьируются параметры задачи и отслеживается изменение интересующих характеристик, как правило, вектора состояния, оценки и других моделируемых величин. Полученные результаты анализируются специалистами и служат базой для содержательных выводов, а также принятия решений, намечающих последующие вычисления. При надлежащей постановке расчетов на основе этих результатов можно как составить представление как о качестве процедуры обработки наблюдений, так и извлечь полезную информацию о свойствах моделируемой динамической системы.

Во многих случаях дискретная постановка задачи моделирования может быть сформулирована следующим образом:

$$\begin{aligned}
 x_{k+1} &= f_x(a_k, x_k, w_k, u_k), \quad z_k = f_z(a_k, x_k, w_k, u_k) \\
 a_k &= f_a(k), \quad w_k = f_w(k), \quad u_k = f_u(k), \\
 \hat{x}_{k+1} &= f_x^{\wedge}(\hat{x}_k, z_k), \quad k=0,1,\dots,\ell,
 \end{aligned}$$

где k - дискретное время, x , z - векторы состояния и измерения, w , u - случайный и детерминированный входные векторы, a - вектор решения уравнения движения, \hat{x} - вектор результата алгоритма обработки, например, оценка вектора состояния, f_x , f_z - операторы, описывающие динамическую систему и канал измерения, f_a - аппроксимация уравнения движения, f_w , f_u - операторы генерации входного воздействия, f_x^{\wedge} - алгоритм обработки наблюдений, x_0 , \hat{x}_0 - начальные значения рекурсивных величин.

Эту модель можно распространить на задачу управления, если вместо зависимости $u_k = f_u(k)$ включить в нее обратную связь вида $u_k = f_u(\hat{x}_k)$ или $u_{k+1} = f(u_k, \hat{x}_k)$ и считать вектор управляющим воздействием.

В задачах оценивания - управления модель реального информационно-измерительного комплекса обычно строится таким образом, что ее вектор состояния описывает ошибки некоторых характеристик работы комплекса. Зачастую при этом задача допускает линеаризацию, приводящую к следующему описанию ненаблюдаемого и наблюдаемого векторов динамической системы:

$$\begin{aligned}
 x_{k+1} &= f_{xx}(a_k)x_k + f_{xw}(a_k)w_k + f_{xu}(a_k)u_k, \\
 z_k &= f_{zx}(a_k)x_k + f_{zw}(a_k)w_k + f_{zu}(a_k)u_k,
 \end{aligned}$$

где f_{xx}, \dots, f_{zu} - известные матрицы модели с элементами, зависящими от вектора характеристик движения. Такую форму представления модели тоже важно учитывать при практическом моделировании.

Часто аппаратура динамической системы является перемещающимся объектом, местонахождение которого удобно задавать в сравнительно немногих точках выбранной траектории. В этом случае вместо решения уравнения движения можно ограничиться нахождением подходящей аппроксимации заданных точек пути, например кубического сплайна, и вычислять вектор характеристик движения по известным формулам, определяющим равенство $a_k = f_a(k)$. Можно считать для определенности, что этот вектор имеет следующий смысл: $a_k = (t_k, z_k, z_k', z_k'', a_k)$,

где t_k - момент времени на k -й итерации, z_k, z'_k, z''_k - вектор координат местонахождения и его первая и вторая производные по времени, C_k - курс.

С траекторией перемещения, а в общем случае с дискретным временем, удобно связывать некоторые стандартные по форме условия, проверка которых разбивает вычислительный процесс моделирования на этапы. Наличие такого управления играет важную роль при моделировании динамических систем переменной структуры и состава, описываемых совокупностью связанных моделей, просчитываемых в нужном порядке. Формирование и сопряжение этапов расчета при этом можно задавать с помощью специальной компоненты описания задачи - логической схемы моделирования.

Для рассматриваемого далее программного обеспечения логическая схема представляет собой цепочку элементов, называемых операторами. Эта схема пооператорно обрабатывается при расчете и определяет его логику. Операторы в ней могут быть двух типов: операторы назначения и переключатели. Операторы назначения содержат информацию для формирования модели, обслуживаемой в этапе расчета, а переключатели служат для условной передачи управления (переходов) по логической схеме.

Оператор назначения представляет собой строку параметров

$$p_1, p_2, \dots, p_{11},$$

где p_1, p_2, p_3, p_4 - указатели (номера) спецификаций, задающих соответственно векторы X, W, U, Z и уравнения модели этапа, p_5 - указатель спецификации начального состояния модели этапа, которое может формироваться с учетом заключительного состояния предшествующей модели, p_6 - указатель списка отслеживаемых величин, p_7 - число итераций этапа, p_8 - число итераций без отслеживания, p_9 - величина временного шага, p_{10} - указатель следующего оператора логической схемы, p_{11} - начальный момент времени следующего этапа по траектории движения.

Переключатель же является записью вида

$$\text{if } A\alpha * B\beta \text{ then } f_1, t_1, \text{ else } f_2, t_2,$$

где $A\alpha * B\beta$ - проверяемое условие ($A\alpha, B\beta$ - указатели сравниваемых величин, A, B - буквы-признаки, α, β - номера, $*$ -

признак отношения типа $=, \neq, >$ и т.д.), j_1, t_1 - номер оператора логической схемы и начальное значение времени, считающиеся текущими при выполнении условия, j_2, t_2 - аналогичные значения, присваиваемые при невыполнении условия.

Не останавливаясь на использовании принципа умолчания при задании логической схемы, отметим только, что с помощью операторов назначения удобно учитывать многообразие реальных ситуаций, моделирование которых представляет интерес, например, замену измерительного канала, изменение характера функционирования динамической системы, наличие возмущений, отказы и др. При этом употребление переключателей позволяет гибко управлять последовательностью прохождения вычислительных этапов, ставя ее в зависимость от выполнения известных отношений (и их цепочек) между практически любыми переменными, участвующими в расчете. Тем самым возможно задавать обратную связь между моделируемыми величинами и ходом вычислительного процесса.

Для проведения такого моделирования предлагается программное обеспечение, позволяющее достаточно просто собирать постановку задачи и исполнительную программу счета. Рассматриваемый пакет программ может быть использован для изучения моделей динамических систем переменной структуры и алгоритмов обработки наблюдений, а также для исследования эффектов их совместного функционирования. Подготовка данных, реализация моделирования и вспомогательное обслуживание ведутся в пакете в форме диалога и поддерживаются его системными средствами. Сборка расчетной программы представляет собой компоновку объектных модулей системной части пакета и нужных модулей функционального обеспечения. Эта сборка, а также редактирование программных компонент и ведение их архива обеспечивается средствами операционной системы ЭВМ. Простая дисциплина работы пакета облегчает его практическое использование, в том числе студентами.

Язык взаимодействия пользователя с пакетом (т.е. с каждой исполнительной программой) представляет собой набор команд, выполняемых интерактивно. Предусматривается два типа команд: управляющие, инициирующие выполнение системных и функциональных операций - процессов, и редактирующие, изменяющие или распечатывающие связанные данные. Команды управления имеют формат $b_1 b_2 b_3 \alpha$, где $b_1 = \&$, b_2 - спецзнак или буква операции, b_3 - пробел, α - число-ключ (может отсутствовать), а команда редактирования имеет вид $b_1 b_2 b_3 \alpha, \beta$, где $b_1 = \{+, \%, -, /, *, : \}$, $b_2 b_3$ -

две буквы, указывающие блок и тип данных, α - номер записи данных в блоке, β - число редактируемых записей, начиная с α ,
Примеры команд: $\$A$ - генерация административных данных (модуля) при создании архива задач, $\$B$ - чтение административных данных существующего архива, $\$D$ - вызов сплайн-аппроксимации траектории движения, которая ведется далее по подсказкам модуля аппроксимации, $\$E$ - вызов моделирования (ввод его пусковых параметров и реализация происходят в диалоге), $\$b_2 b_3 \alpha$ - ввод записи $b_2 b_3 \alpha$ данных, выполняемой с терминала поэлементно по подсказкам, $\% b_2 b_3 \alpha$ ввод с терминала комментария для данных $b_2 b_3 \alpha$, $* b_2 b_3 \alpha, \beta$ - задача β записей данных с комментариями на терминал, $: b_2 b_3; \beta$ - выдача на бумагу.

Многообразие задач моделирования в пакете учитывается его функциональным обеспечением, состоящим из предметного и программного архивов. Предметный архив - это файл на диске, первая запись которого (административный модуль) содержит служебную информацию, а последующие записи (предметные модули) представляют данные различных задач. Эти файлы ведутся средствами пакета, при эксплуатации которого все связи по данным между любыми программными компонентами осуществляются через резидентный административный модуль и текущий предметный модуль задачи. Программный же архив представляет собой несколько файлов с (заказными) подпрограммами - модулями функционального обеспечения. Этот архив ведется с помощью операционной системы, и в нем можно также хранить системные модули пакета и исполнительные программы.

Очевидно, заказные подпрограммы должны быть написаны пользователем с учетом несложной структуры данных, предусмотренной для предметных модулей. Проблемная ориентация пакета позволяет ограничиться немногими типами заказных подпрограмм: аппроксимации траектории движения, вычисления характеристик перемещения, алгоритмом обработки наблюдений и модулем расчета заказных величин (переменных элементов матриц моделей, компонент входных векторов и др.).

Системная часть пакета состоит из фиксированных системных подпрограмм на Фортране и административного модуля данных, обеспечивающих функционирование пакета. Пакет включает в себя также архив результатов, формирующийся в виде файла на диске, первая запись которого является копией административного модуля данных, а все последующие содержат мнемонику и значения величин, отслеженных в ходе моделирования. Такие файлы можно распечатывать в диалоге.

накапливать и предусмотреть их внепакетную обработку. Каждая расчетная программа, собираемая из пакета, представляет собой фиксированную оверлейную структуру, генерируемую обычным образом с помощью операционной системы РАФОС для СМ4. При необходимости ее нетрудно варьировать с учетом взаимодействия системных и функциональных модулей пакета.

Информационное обслуживание пользователя в пакете предусматривается за счет достаточно полного набора системных сообщений (диагностик, подсказок и т.д.) и возможности сопровождать текстом комментарием любую запись данных, доступную пользователю. При этом каждый ввод данных осуществляется поэлементно с контролем на допустимость, а выдача - с диагностикой на полноту связей. Ввод-вывод в диалоге ведется в унифицированном, удобном для восприятия пользователя формате. Кроме того, при распечатке данных на бумагу между выдачами можно вносить по специальной команде разделительные строки символов (комментарий, дату, заголовки и т.п.), набираемые на терминале.