Использованием соотношений (1), (2) были созданы и программно реализованы алгоритмы, которые легли в основу комплекса программ АУК (анализ установления колебаний). Комплекс АУК предназначен для пополнения пакета программ численного анализа электронных схем и систем из конечных элементов [1] и сохраняет все основные особенности пакета, касающиеся структуры, языка, организации библиотеки моделей элементов, входной и выходной информации. В АУК, как и в пакете, для решения задачи анализа схем реализован модифицированный узловой метод.

Для комплекса АУК разработаны проблемно-ориентированная библиотека моделей элементов (как часть общей библиотеки моделей элементов пакета) и несколько дополнительных модулей для решения задач численного анализа.

Описываемый программный комплекс позволяет вычислять стационарное состояние (причем контроль над ошибкой интегрирования гарантирует сходимость к реальному предельному устойчивому состоянию), а также дает возможность рассчитывать переходный процесс, фазо- и частотно-модулированные сигналы. Комплекс АУК реализован на языке ФОРТРАН на машине АСВТ М-4030. В качестве тестовых использовались примеры из работ [2, 3].

Необходимо отметить, что вычисление матрицы связано со значительными затратами машинного времени, поэтому в зависимости от того, как часто итеративный процесс (2) будет не сходиться, время интегрирования может существенно изменяться. В связи с этим большое значение имеет стратегия выбора величины «исключенных» временных интервалов. Накопленный опыт использования программного комплекса АУК показывает, что имеет смысл интегрировать на нескольких первых периодах (количество определяется пользователем в соответствии с априорной информацией о характере решения), не используя (2). Кроме того, необходимо указать на существенное значение точности вычисления матрицы $\frac{\partial x_{n+1}}{\partial x_n}$. Всякая попытка занижения точности приводит к нарушению итерационного процесса (2).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Безносов Г. П., Ефименко В. В., Загоруйко А. С., Стукалин Ю. А.** Пакет программ численного анализа электронных схем и систем из конечных элементов.— В кн.: Автоматизация научных исследований на основе применения ЭВМ. (Материалы Всесоюз. конф.) Новосибирск, изд. ИАиЭ СО АН СССР, 1977, с. 41—45.
2. **Aprille T. I., Trick T. N.** Steady-State Analysis of Nonlinear Circuits with Periodic Input.— Proc. of the IEEE, 1972, vol. 60, N 1, p. 108—114.
3. **Strohband P. H., Laur R., Engl W. L.** TNPT — an Efficient Method to Simulate Forced Nonlinear RF Networks in Time Domain.— IEEE J. of Solid-State Circuits, 1977, vol. SC-12, N 3, p. 243—246.
4. **Trick T. N., Colon F. R., Fan S. P.** Computation of Capacitor Voltage and Inductor Current Sensitivities with Respect to Initial Conditions for the Steady-State Analysis of Nonlinear Periodic Circuits.— IEEE Trans. on Circuits and Systems, 1975, vol. CAS-22, N 5, p. 391—397.

Поступило в редакцию 2 ноября 1979 г.

УДК 62-503.5 : 519.2

Н. Н. БЕНДИЧ

(Иркутск)

ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ АДАПТИВНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ

Предлагается метод, позволяющий в режиме дуального управления программно осуществлять стабилизацию выходов объектов с неизвестным математическим описанием при обычных предположениях об управляемости.

Критерием качества стабилизации является максимум вероятности попадания выхода объекта в заданную область на каждом шаге управления при условии известного состояния на предыдущем шаге. Рассматривается случай, когда вектор выхода является наблюдаемым вектором состояния.

Областью допустимых управлений V будем считать множество всех ступенчатых ограниченных функций, таких, что $u_i(t)=u_i[n\tau]$ для всех моментов времени t, $n\tau\leqslant t<(n+1)\tau$, здесь $u_i(t)$ — i-я координата управляющего воздействия, $i=\overline{1, m}$;

τ — выбранный заранее промежуток дискретности. Далее будем обозначать $u_i[n\tau]=u_i[n]$.

Поскольку вероятность попадания выхода в заданную область рассматривается как функция состояния на предыдущем шаге, управляющее воздействие, доставляющее максимум этой вероятности, также будет функцией состояния $\bar{u}[n]=\bar{u}[\bar{x}[n]]$; $\bar{x}(t)$ — l-мерный вектор состояния системы.

Алгоритм Кифера — Вольфовица [1] позволяет находить точку, в которой неизвестная функция достигает максимума. В нашем случае дело усложняется тем, что необходимо получить управляющее воздействие, доставляющее максимум неизвестной функции вероятности в виде $\bar{u}[\bar{x}[n]]$.

Предположим, что с достаточной точностью можно представить каждое $u_i[n]$ в виде

$$u_i[n]=\sum_{j=1}^{N} c_{ij}\varphi_j(\bar{x}[n]).$$

Здесь $\{\varphi_j\}$, $j=\overline{1, N}$,— набор независимых функций (например, ортонормированных полиномов), размерность которого зависит от предполагаемой степени гладкости $\bar{u}[\bar{x}[n]]$; $C=\{c_{ij}\}$ — $(m\times N)$-матрица неизвестных коэффициентов, которую требуется идентифицировать

Введем функцию [2]

$$\Theta(\bar{x}[n], C)=\begin{cases}1, & \text{если } \bar{x}[n]\in[\bar{\alpha}', \bar{\alpha}''];\\ 0, & \text{если } \bar{x}[n]\,\bar{\in}\,[\bar{\alpha}', \bar{\alpha}''],\end{cases}$$

где $[\bar{\alpha}', \bar{\alpha}'']$ — заданный интервал выхода объекта.

Тогда критерий качества стабилизации можно переписать в виде

$$I(C)=\max_{C} E_{\bar{x}[n]}\{\Theta(\bar{x}[n], C)\}.$$

Применение метода потенциальных функций [3] для нахождения максимума этого функционала можно также интерпретировать как процедуру Кифера — Вольфовица, которая на каждом $k+1$-м шаге идентификации даст $\bar{u}^{k+1}[n]=C[k+1]\bar{\varphi}(\bar{x}[n])$, определяемое соотношением

$$\bar{u}^{k+1}[n]=\bar{u}^{k}[n]+\frac{\gamma_k}{a_k}\left(\frac{\bar{\Theta}_+\left(\bar{x}^k[n], \bar{u}^k[n], a_k\right)-\bar{\Theta}_-\left(\bar{x}^k[n], \bar{u}^k[n], a_k\right)}{2}\right)\times$$
$$\times\,\bar{\varphi}^T(\bar{x}^k[n])\,\bar{\varphi}(\bar{x}[n]).$$

Здесь $\{\gamma_k\}$, $\{a_k\}$ — последовательности скаляров, регулирующие длину шага адаптации и удовлетворяющие обычным требованиям процедур стохастической аппроксимации в поисковых алгоритмах;

$$\bar{\Theta}_+(\cdot)=(\Theta(\bar{x}^k[n], \bar{u}^k[n]+a_k\bar{e}_1), \Theta(\bar{x}^k[n], \bar{u}^k[n]+a_k\bar{e}_2), \ldots, \Theta(\bar{x}^k[n], \bar{u}^k[n]+a_k\bar{e}_m));$$

$$\bar{\Theta}_-(\cdot)=(\Theta(\bar{x}^k[n], \bar{u}^k[n]-a_k\bar{e}_1), \Theta(\bar{x}^k[n], \bar{u}^k[n]-a_k\bar{e}_2), \ldots, \Theta(\bar{x}^k[n], \bar{u}^k[n]-a_k\bar{e}_m)),$$

$\{\bar{e}_i\}$ — набор векторов, образующих базис в пространстве E_m. Таким образом, каждый элемент матрицы $C[k+1]$ определяется соотношением

$$c_{ij}^{k+1}=c_{ij}^{k}+\frac{\gamma_k}{a_k}\left(\frac{\Theta\left(\bar{x}^k[n], \bar{u}^k[n]+a_k\bar{e}_i\right)-\Theta\left(\bar{x}^k[n], \bar{u}^k[n]-a_k\bar{e}_i\right)}{2}\right)\varphi_j(\bar{x}^k[n]).$$

При этом $I(C[k])\to I(C)$ почти наверное.

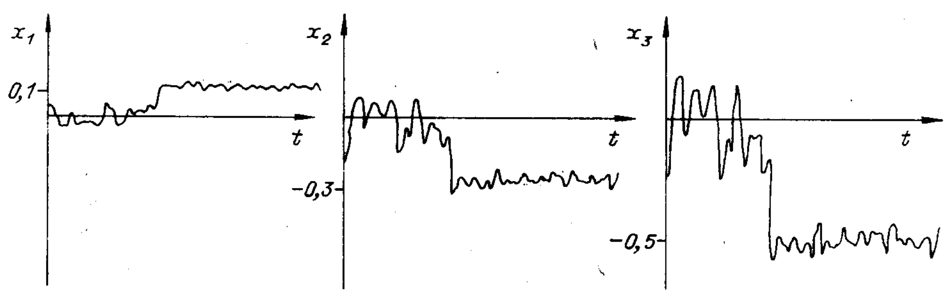

Рис. 1.

На каждом шаге найденное значение $\bar{u}^k[\bar{x}^k[n]]$ используется в качестве управляющего воздействия; таким образом, в процессе адаптации осуществляется дуальное управление, хотя практически на первых шагах для того, чтобы не «тормошить» объект заведомо далекими от оптимальных воздействиями, лучше воздержаться от использования восстановленных значений $\bar{u}^k[\bar{x}^k[n]]$ в качестве управления.

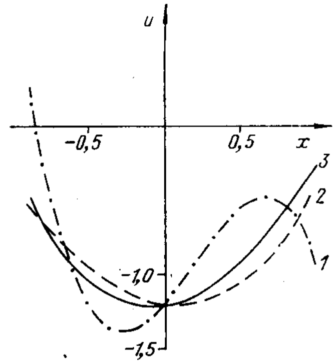

Рис. 2.

Предложенный подход может быть использован как для стабилизации состояний объектов АСУ ТП, так и для различных исследований, связанных с созданием и использованием динамических моделей процессов. Был поставлен ряд экспериментов по управлению переопределенными объектами. Программа, составленная на языке ФОРТРАН для ЭВМ «Минск-32», работала с моделями первого и третьего порядков, а также с моделью первого порядка с транспортным запаздыванием, идентифицируя одномерное оптимальное с точки зрения предложенного критерия управление. На рис. 1 приведены результаты управления устойчивым линейным трехмерным объектом.

Вектор состояния (x_1, x_2, x_3) имеет область задания $(0{,}95 \div 1{,}05;\ -0{,}305 \div -0{,}295;\ -0{,}505 \div -0{,}495)$. На первых 40 шагах идентификация осуществляется при равномерно распределенном случайном управляющем воздействии с нулевым математическим ожиданием и дисперсией, равной 0,5, смешанном со стационарным гауссовским шумом, имеющим нулевое математическое ожидание и дисперсию, равную 0,16. Затем идентифицируемый управляющий сигнал подается на вход, и дальнейшая адаптация происходит в дуальном режиме; гауссовский шум продолжает аддитивно действовать на вход системы.

Оптимальное управление является функцией трех переменных; на рис. 2 показаны сечения этой функции после того, как процесс идентификации закончен: *1* — сечение гиперповерхностью $x_1 = x_2 = 0$; *2* — $x_2 = x_3 = 0$; *3* — $x_1 = x_3 = 0$.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Kiefer E., Wolfowitz J.** Stochastic Estimation of the Maximum of a Regression Function.— Ann. Math. Statist., 1952, vol. 23, N 3, p. 462—466.
2. **Цыпкин Я. З.** Адаптация и обучение в автоматических системах. М., Наука, 1968.
3. **Айзерман М. А., Браверман Э. М., Розоноэр Л. И.** Метод потенциальных функций в теории обучения машин. М., Наука, 1970.

Поступило в редакцию 18 сентября 1979 г.

УДК 539.108

А. Л. РЕЗНИК

(Новосибирск)

ОБ ОЦЕНКЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОТОКОВ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ ОТСЧЕТОВ

В данной работе рассматриваются вопросы, связанные с оценкой параметров входящих и выходящих потоков в различного рода регистрирующих и счетно-измерительных устройствах.

Рассмотрим сначала «идеальный» регистратор, на вход которого поступает пуассоновский поток импульсов. Пусть счетчик регистратора не имеет «мертвого» времени, так что каждый поступивший импульс автоматически является отсчетом. Если требуется оценить интенсивность входящего потока λ, то в принципе возможны два варианта проведения эксперимента:

а) подсчет n — количества отсчетов, зарегистрированных за время t_0, где t_0 заранее фиксируется;

б) измерение времени t, необходимого для набора n_0 отсчетов, где заранее фиксируется уже не t, а n_0.