т. е. условие непрерывности вторых частных производных не выполняется.

Знак первого минора не определен, он зависит от невязок ξ_i, $i=\overline{1, N}$, попавших в интервал $(b, c) \vee (-c, -b)$. Следовательно, говорить о положительной полуопределенности матрицы Гессе и выпуклости целевой функции невозможно.

Предполагая наличие более одной стационарной точки у $\sum_{i=1}^{N} F(\xi_i)$, воспользуемся для поиска $\min\limits_{A} \sum_{i=1}^{N} F(\xi_i)$ методом случайного блуждающего поиска глобального экстремума в сочетании с адаптивным градиентным методом, предназначенным для поиска локальных минимумов.

В качестве первого приближения для A принимаем оценку $\hat{A}'$, определенную по методу наименьших моделей. Такой подход оправдан устойчивостью оценок, найденных по методу наименьших модулей, в классе невырожденных плотностей [1]. Численные результаты указывают на высокую эффективность данного помехоустойчивого метода оценивания параметров моделей.

Список литературы: 1. *Huber P. I.* Robust estimation of a location parameter. — Ann. Math. Stat, 1964, 35. p. 73—101. 2. *Robust* estimates of location: survey and advances/D. F. Andrews, P. I. Bichel, F. R. Hampel e. a. — Princton University Press, 1972. — 370 p.

Поступила в редколлегию 10.02.81

УДК 62—50

А. Н. СИРЕНКО, Н. Ю. ТУПАС

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

При идентификации сложных технико-экономических, технических и экономических систем часто возникает необходимость в получении аналитической зависмости между определяющими параметрами — аргументами и функцией. Обычно для этого используется метод наименьших квадратов или его модификации, например рекуррентная форма. В работах [1, 2] описана методика, позволяющая значительно упростить процедуру идентификации и аналитического представления экспериментально полученных зависимостей. В нашей статье предложен алгоритм, с помощью которого можно провести аналитическую аппроксимацию многомерных статистических функций. Алгоритм включает следующие этапы: 1) табличное представление исходных данных, 2) выделение аргументов, 3) получение точек, характеризующих изменение функции вдоль каждого аргумента, 4) аппроксимация составляющих методом наименьших квадратов, 5) вычисление среднеквадратичной ошибки аппроксимации. Аппроксимирующее выражение строится в виде

$$S^a(x_1, x_2, \ldots, x_n) = A \prod_{j=1}^{n} f_j^a(x_j). \tag{1}$$

Здесь функции $f_j^a(x_j)$ найдены при аппроксимациях методом наименьших квадратов функций одного переменного $f_j(x_{ji_j})$, которые получаем при решении системы нелинейных алгебраических уравнений

$$f_j(x_{ji_j}) = \sum_{i_1=1}^{k_1} \sum_{i_2=1}^{k_2} \cdots \sum_{i_{j-1}=1}^{k_{j-1}} \sum_{i_{j+1}=1}^{k_{j+1}} \cdots \sum_{i_n=1}^{k_n} S(x_{1i_1}, x_{2i_2}, \ldots, x_{ni_n}) \times$$

$$\times f_1(x_{1i_1}) f_2(x_{2i_2}) \cdots f_{j-1}(x_{j-1i_{j-1}}) f_{j+1}(x_{j+1i_{j+1}}) \cdots f_n(x_{ni_n}) / \times$$

$$\sum_{i_1=1}^{k_1} [f_1(x_{1i_1})]^2 \sum_{i_2=1}^{k_2} [f_2(x_{2i_2})]^2 \cdots \sum_{i_{j-1}=1}^{k_{j-1}} [f_{j-1}(x_{j-1i_{j-1}})]^2 \sum_{i_{j+1}=1}^{k_{j+1}} [f_{j+1} \times$$

$$\times (x_{j+1i_{j+1}})]^2 \cdots \sum_{i_n=1}^{k_n} (f_n(x_{ni_n}))^2, \ j = 1, 2, \ldots, n,$$

где $S(x_{1i_1}, x_{2i_2}, \ldots, x_{ni_n})$ — табличная функция исходных данных; x_{ji_j} — j-й аргумент, принимающий k_j дискретных значений ($i_j = 1, 2, \ldots, k_j$). Решать такую систему удобно методом последовательных приближений [2]. Расчеты на цифровой ЭВМ показали, что решение системы (2) можно получить при незначительном числе итераций, что обеспечивает небольшие затраты машинного времени. Аппроксимация полученных в результате решения системы (2) функций одного переменного методом наименьших квадратов трудностей не вызывает.

Оценим работоспособность предлагаемой методики на конкретном примере. Для этого возьмем статистическую функцию, зависящую от двух переменных

$$S = S(x_1, x_2), \tag{3}$$

где аргумент x_1 принимает значения $x_{11}, x_{12}, \ldots, x_{15}$, а аргумент x_2—$x_{21}, x_{22}, \ldots, x_{24}$. Аппроксимирующее выражение будем искать в виде полинома.

В результате применения классического метода наименьших квадратов [3] получено аппроксимирующее выражение

$$S_1^a(x_1, x_2 = A_1 x_1^{\alpha_{11}} x_2^{\alpha_{21}}. \tag{4}$$

Применяя предлагаемый алгоритм, имеем

$$S_2^a(x_1, x_2) = A_2 x_1^{\alpha_{12}} x_2^{\alpha_{22}}. \tag{5}$$

Программная реализация обоих методов проведена на языке АЛГОЛ-60. Проанализируем результаты. На рис. 1 приведены функции

$$\Delta_1(x_1, x_2) = S(x_1, x_2) - S_1^a(x_1, x_2), \tag{6}$$

на рис. 2 — функции

$$\Delta_2(x_1, x_2) = S(x_1, x_2) - S_2^a(x_1, x_2). \tag{7}$$

Сравнив выражения (6), (7), придем к следующим выводам. Аппроксимирующее выражение, полученное по классическому ме-

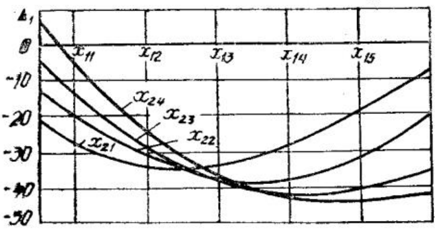

Рис. 1

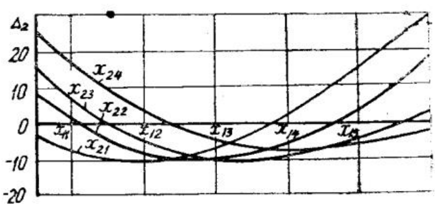

Рис. 2

тоду наименьших квадратов, приближает функцию (3) с некоторым неучтенным весом, чего не наблюдается при использовании рекомендуемой методики. Функция (5) обеспечивает среднеквадратичную ошибку аппроксимации примерно в 10 раз меньшую, чем функция (4).

Список литературы: 1. *Бутковский А. Г.* Теория оптимального управления системами с распределенными параметрами.— М.: Наука, 1965.— 474 с. 2. *Этерман И. И.* Математические машины непрерывного действия.— М.: Машгиз, 1957.— 234 с. 3. *Дабагян А. В.* Оптимальное проектирование машин и сложных устройств.— М.: Машиностроение, 1970.— 280 с.

Поступила в редколлегию 11.12.80.

УДК 656

Н. В. ТКАЧУК, канд. техн. наук

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРЫ ДАННЫХ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ДИАЛОГОМ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Общепризнанной компонентой систем автоматизированного проектирования (САПР) является развитое программное обеспечение, предполагающее диалоговое взаимодействие проектировщика с ЭВМ [1]. В статье представлена одна из возможных