последний представляет механическую систему с постоянной массой и переменной жесткостью, и других параметров. При этом система возбуждения механических колебаний (см. рисунок) представляет собой электромагнитный, электродинамический или иного принципа действия вибратор. Носителем информации и одновременно выходной величиной объекта контроля, совмещенного с ЧЭ датчика, является собственная частота механических колебаний объекта контроля. В состав датчика, кроме объекта контроля — ЧЭ, входит также система съема информации, включающая вторичный преобразователь, например, пьезоэлектрической системы.

Перспективным является также использование для возбуждения механических колебаний объектов естественных шумов (в широком значении этого слова), имеющихся в месте их установки, например передаваемые через механические связи или через среду вибрационные или акустические воздействия от силового оборудования. Необходимой предпосылкой успешной реализации этого метода являются высокие значения добротностей механических систем объектов [2]. Это обеспечивает преимущество шумовым воздействиям, совпадающим по частоте с резонансными частотами объектов. При этом объект контроля за счет высокой добротности выделяет из шумового спектра те гармоники, которые по частоте и фазе обеспечивают условия оптимальности возбуждения объекта. Однако использование естественных шумов для возбуждения механических колебаний объекта приводит к необходимости решать ряд специфических задач, наиболее трудными из которых являются: выделение полезного сигнала при высоком уровне помех; построение адаптирующихся избирательных устройств; борьба с кроссмодуляциями, сопутствующими выделяемой модуляции, и т. д.

Достоинства рассматриваемого частотно-вибрационного метода контроля параметров объекта — ЧЭ [3]: частотная форма представления информации непосредственно на выходе ЧЭ датчика; легкость передачи информации в частотной форме представления на расстояние; простота и высокая точность преобразования частоты в цифровую форму представления и автокомпенсация ряда погрешностей, так как объект контроля и чувствительный элемент датчика одинаково реагируют на изменение внешних условий, ибо они конструктивно совмещены в одном устройстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Д. Гик, Г. П. Арнаутов, А. В. Якименко. К вопросу об определении частотных характеристик по результатам импульсных испытаний.— Автометрия, 1969, № 4.
2. Н. Т. Милохин. Частотные датчики систем автоконтроля и управления. М., «Энергия», 1968.
3. Г. В. Салов. К вопросу оптимального преобразования информации с кодовым выходом.— Тезисы докладов Республиканской научно-технической конференции. Киев, 1968.

Поступило в редакцию
31 октября 1969 г.,
окончательный вариант —
5 июня 1970 г.

УДК 621.391.1 : 518.5

В. А. КАБАКОВ

(Новосибирск)

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОДНОМЕРНОЙ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ

Определение вероятностных свойств случайных величин, в частности одномерной плотности вероятности $f(x)$, имеет важное значение в прикладных задачах. Известные алгоритмы восстановления [1] страдают тем недостатком, что хорошая аппроксимация искомой функции ортогональным рядом имеет место, если сама функция плотности вероятности является достаточно гладкой. Наличие выбросов, δ-функций в распределении не «улавливается» при аппроксимации, что существенно искажает действительный характер распределения.

В данном сообщении предлагается способ формирования оценки плотности распределения

$$\hat{f}(x) = \sum_{i=1}^{N} c_i \varphi_i(x) \qquad (1)$$

с помощью ортогональных пороговых функций

$$\varphi_i(x) = \begin{cases} 1; & A_{i-1} < x < A_i; \\ 0; & A_{i-1} > x; \quad x > A_i, \end{cases} \qquad (2)$$

причем пороговые значения A_i не фиксируются, как это обычно делается в подобных задачах, а формируются в процессе обучения так, чтобы вероятность попадания величины x в отрезок $A_{i-1} < x < A_i$

$$v_i = \int\limits_{A_{i-1}}^{A_i} f(x)\,d\,x = \frac{1}{N} \qquad (3)$$

была постоянной. Тогда коэффициенты в (1) можно определить из формулы

$$c_i = \frac{1}{N(A_i - A_{i-1})}. \qquad (4)$$

Пусть весь диапазон изменения случайной величины x заведомо лежит в пределах $A_0 < x \leqslant A_N$. Зафиксируем две крайние точки гистограммы. Если промежуточные пороговые значения выбраны из условия (3), как это сделать, ниже будет показано, то выполняются равенства:

$$\int\limits_{A_0}^{A_i} f(x)\,d\,x = \frac{i}{N}; \quad \int\limits_{A_i}^{A_N} f(x)\,d\,x = \frac{N-i}{N}. \qquad (5)$$

Иначе это можно представить в виде

$$(N-i)\int\limits_{A_0}^{A_i} f(x)\,d\,x - i\int\limits_{A_i}^{A_N} f(x)\,d\,x = 0, \qquad (6)$$

или

$$\int\limits_{A_0}^{A_N} y_i\,[\mathrm{sign}\,(A_i - x)]\,f(x)\,d\,x = 0, \qquad (7)$$

где

$$y_i[1] = N - i; \quad y_i[-1] = -i. \qquad (8)$$

Как видим, искомые границы гистограммы являются корнями соответствующих уравнений:

$$\overline{y_i\,[\mathrm{sign}\,(A_i - x)]} = 0; \quad i = 1, 2, \ldots, (N-1), \qquad (9)$$

и для определения их на основе x_n можно воспользоваться рекуррентными алгоритмами стохастической аппроксимации [2]. Тогда на n-м шаге

$$A_i^n = A_i^{n-1} - \gamma_n\,y_i\,[\mathrm{sign}\,(A_i^{n-1} - x_n)]; \quad i = 1, 2, \ldots, (N-1), \qquad (10)$$

где γ_n — числа, удовлетворяющие известным условиям сходимости алгоритмов. По этому алгоритму границы гистограммы A_i определяются независимо одна от другой. Промежуточные пороговые значения A_i, удовлетворяющие условию (3), можно найти, иначе, определяя корни системы уравнений

$$\overline{\varphi_i(x) - \varphi_{i+1}(x)} = 0; \qquad \overline{\varphi_j(x) - \frac{1}{N}} = 0; \; i = 1, 2, \ldots, (N-1); \; j = 1, 2, \ldots, (N-1) \qquad (11)$$

по соответствующим алгоритмам стохастической аппроксимации:

$$A_i^n = A_i^{n-1} - \gamma_n \{\varphi_i(x_n) - \varphi_{i+1}(x_n)\}; \quad i = 1, 2, \ldots, (N-1); \tag{12}$$

$$A_j^n = A_j^{n-1} - \gamma_n \left\{\varphi_j(x_n) - \frac{1}{N}\right\}; \quad j = 1, 2, \ldots, (N-1), \tag{13}$$

где γ_n те же, что и в (10). Начальные пороговые значения A_i^1 выбираются с учетом условия

$$A_{i+1}^1 > A_i^1. \tag{14}$$

Предлагаемый способ построения гистограммы позволяет более тонко выявить характерные статистические свойства случайной величины, поскольку, как это видно из (3), в области наибольшей плотности распределения разряды выбираются более узкие, чем в области малой плотности. Сходимость алгоритмов с вероятностью 1 следует из теорем Блюма [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. З. Цыпкин. Применение метода стохастической аппроксимации к оценке неизвестной плотности распределения по наблюдениям.— Автоматика и телемеханика, 1966, № 3.
2. Н. В. Логинов. Методы стохастической аппроксимации (обзор).— Автоматика и телемеханика, 1966, № 4.

Поступило в редакцию
1 июня 1970 г.