

Б. Д. БОРИСОВ, М. И. МОГИЛЬНИЦКИЙ, А. Г. СЕНИН  
(Новосибирск)

### К АНАЛИЗУ РАБОТЫ КЛАССИФИКАТОРА ШУМОВ

Решение многих практических задач связано с распознаванием шумовых сигналов. Акустическая диагностика машин и механизмов, технологический контроль сложных объектов, обнаружение и классификация шумов — далеко не полный круг задач, для решения которых весьма желательно иметь автоматические устройства, способные после предварительного обучения оператором выдавать решение о характере наблюдаемого процесса.

Однако до последнего времени такие разработки отсутствовали. Алгоритмы распознавания в основном моделировались на ЭВМ, и законченные результаты выдавались в виде программ. Но далеко не всегда возможно и целесообразно использовать вычислительные машины для классификации: алгоритмы обработки иногда оказываются достаточно простыми, но требуют непрерывной работы машины в течение длительного времени, условия эксперимента могут не позволить воспользоваться ЭВМ. Поэтому создание сравнительно простых специализированных устройств для распознавания является актуальной задачей.

В Институте автоматики и электрометрии СО АН СССР разработана аппаратура для распознавания шумов (рис. 1), которая после обучения разделяет сигналы на два класса. Введение дополнительной временной синхронизации позволяет использовать ее также для обнаружения и распознавания импульсных сигналов. Основные принципы синтеза классификатора изложены в [1]. В данной статье освещены некоторые технические характеристики макета и экспериментальные результаты по анализу его работы.

Структурная схема классификатора представлена на рис. 2. Распознаваемый шум  $x(t)$  подвергается усилению и ограничению, чтобы

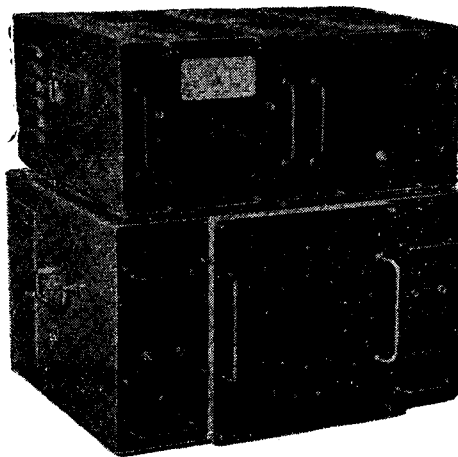


Рис. 1.

уровень входного сигнала не влиял на результат классификации. Далее с помощью четырнадцати полосовых фильтров выполняется параллельный спектральный анализ клипированного сигнала. Энергетические характеристики спектра используются в качестве признаков для классификации.

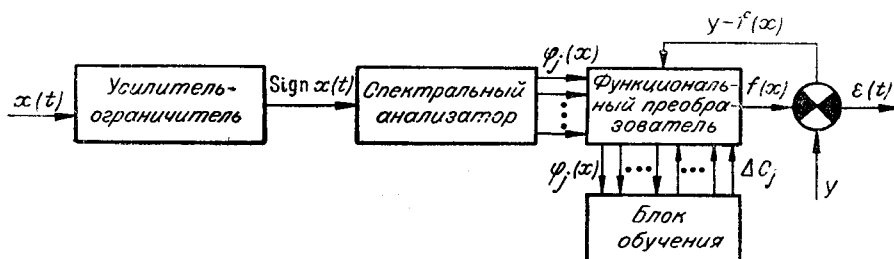


Рис. 2.

В функциональном преобразователе формируется разделяющая поверхность вида

$$f(x) = \sum_{j=1}^{28} c_j \varphi_j(x), \quad (1)$$

где  $\varphi_j(x)$  ( $j=1, 2, \dots, 14$ ) — энергия сигнала в узкой полосе частот;  $\varphi_j(x)$  ( $j=15, 16, \dots, 28$ ) — квадрат энергии сигнала;  $c_j$  — коэффициенты, подстраиваемые в процессе обучения. Значения коэффициентов должны выбираться так, чтобы разделяющая поверхность удовлетворяла, например, условию:

$$f(x) \begin{cases} \geq 0; & x(t) \in A; \\ < 0; & x(t) \in B, \end{cases} \quad (2)$$

где  $A, B$  — соответствующие классы. Алгоритм обучения классификатора реализует известный метод стохастической аппроксимации, его регулярный вариант [2]. Критерием оптимальности, минимизация которого обеспечивает соответствующий выбор весовых коэффициентов, принят простейший функционал

$$I = |y - f(x)|, \quad (3)$$

откуда рекуррентные соотношения для коэффициентов на каждом шаге обучения принимают вид

$$c_j[n] = c_j[n-1] + \gamma[n] \text{sign}(y[n] - \sum_{i=1}^{28} c_i[n-1] \varphi_i(x[n])) \varphi_j(x[n]), \quad (4)$$

где  $y[n]$  — сигнал о принадлежности реализации (реакция оператора);

$$y[n] = \begin{cases} +1; & x(t) \in A; \\ -1; & x(t) \in B; \end{cases} \quad (5)$$

$\gamma[n]$  — шаг подстройки.

В качестве весовых элементов использованы переменные сопротивления, которые последовательно подстраиваются при каждом цикле показа обучающей выборки.

Процедура обучения сводится к следующему. В некоторый фиксированный интервал времени  $\Delta t$ , условно принятый за исходное состояние, формируется спектр сигнала, на конденсаторах в блоке обучения запоминаются напряжения признаков  $\varphi_j(x[n])$  и  $\varphi_j^2(x[n])$ , а также знак ошибки  $\epsilon(t)$ , определяемый величиной  $\text{sign}(y[n] - \sum_{j=1}^{28} c_j[n-1] \times \varphi_j(x[n]))$ . Затем с помощью шагового искателя последовательно коммутируются конденсаторы памяти и электромагнитные муфты потенциометров, которые вращаются реверсивным двигателем, причем угол поворота движка потенциометров на каждом шаге пропорционален величине напряжения, считываемого с соответствующего конденсатора. Благодаря наличию следящей системы по перемещению на угол поворота не оказывают существенного влияния наличие люфтов в механической передаче, различное время срабатывания муфт, проскальзывание и другие вредные факторы, присущие механическим системам.

Шаговый искатель (ШИ) управляется устройством сравнения. Если величина напряжения признака больше напряжения компенсации, определяемого углом поворота, то муфта притянута и движок потенциометра вращается. При выравнивании напряжений муфта отключается, а шаговый искатель переходит на новую ламель. После завершения одного цикла подстройки вновь формируются признаки, определяется знак ошибки между реакциями оператора и системы и цикл повторяется. Благодаря однознаковым признакам направление вращения реверсивного двигателя определяется в исходном состоянии и в течение цикла не меняется, что ускоряет коррекцию коэффициентов. Время подстройки всех параметров разделяющей поверхности при максимальном шаге  $\gamma[n]$  не превосходит 5 сек.

Для обеспечения сходимости алгоритма величина  $\gamma[n]$  должна удовлетворять определенным условиям, в частности уменьшаться. В разработанной аппаратуре шаг автоматически изменяется по экспоненте, скорость убывания которой может корректироваться оператором при обучении.

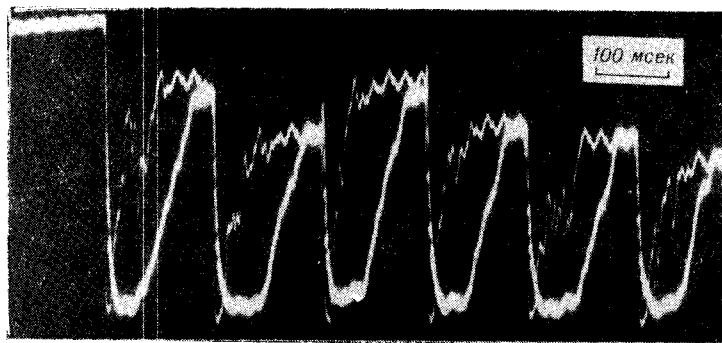


Рис. 3.

На рис. 3 представлена оциллограмма признаков и компенсирующего напряжения, отражающая динамику работы классификатора. Так, время «перелета» ШИ и включения муфт составляет приблизительно 40 мсек, а полное время обработки максимального признака равно 180 мсек.

Процесс обучения разделению входных сигналов на два класса наглядно иллюстрируется рис. 4, на котором представлена экспериментальная зависимость ошибки

$$\varepsilon(t) = y - \sum_{j=1}^{28} c_j \varphi_j(x) \quad (6)$$

от времени обучения. Нормированные спектры этих процессов отражены на рис. 5. Диапазон анализируемых частот ограничивался в пределах от 400 до 4000 гц.

В начальный момент времени все коэффициенты  $c_j$  разделяющей поверхности (1) были равны нулю, так что выходной сигнал также равен нулю независимо от характера процесса на входе. Поэтому в начале обучения ошибка близка к реакции оператора, затем уменьшается и через несколько десятков циклов (порядка 40 показов) практически оказывается равной нулю, а выходные сигналы классов совпадают с указаниями оператора  $y[n]$ . Быстрая сходимость процесса обучения обусловлена существенной разницей в спектрах распознаваемых процессов.

Если такая разница невелика, процесс обучения затягивается. Предварительные эксперименты показывают, что разрешающая способность прибора, та минимальная разность в признаках, при которых возможно уверенное обучение, составляет 10% номинального значения признака при «белом» шуме.

Возможность использования классификатора в конкретных ситуациях, как и при машинном моделировании алгоритмов, в значительной степени определяется выбором эффективной системы признаков. Если такая система определена, области признаков двух классов достаточно компактны, односвязны и удалены относительно друг друга, использование классификатора позволяет эффективно и надежно решать практические задачи распознавания.

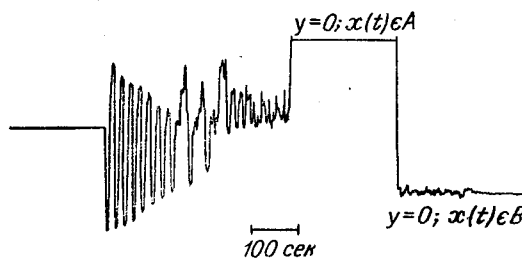


Рис. 4.

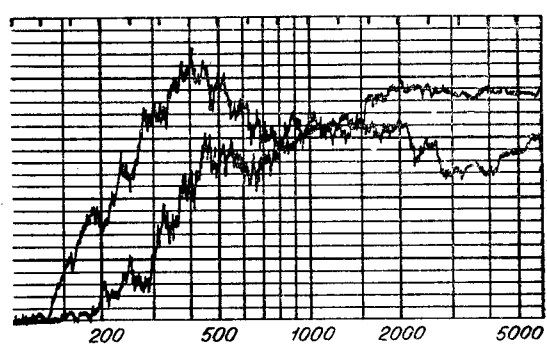


Рис. 5.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Д. Борисов, М. И. Могильницкий, З. И. Нестерова, А. Г. Сеини. О принципах построения аппаратуры для распознавания шумовых сигналов.— Доклад на IV Всесоюзном совещании по автоматическому управлению. (технической кибернетике). Тбилиси, 1968.
2. Я. З. Цыпкии. Адаптация и обучение в автоматических системах. М., «Наука», 1968.

Поступила в редакцию  
18 декабря 1969 г.