

МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ
ИНФОРМАЦИИ
С ПОМОЩЬЮ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН

УДК 621.391.193

Б. Д. БОРИСОВ, А. В. САМОШИН,
А. Г. СЕНИН, М. С. ХАЙРЕТДИНОВ
(Новосибирск)

АППАРАТУРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ
РАСПОЗНАВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Распознавание случайных процессов является актуальной задачей. Практическое решение ее во многом способствовало бы техническому прогрессу. Однако до настоящего времени характер исследований в этом направлении ограничивался в основном моделированием алгоритмов распознавания на ЭВМ, углублением теоретических вопросов, поиском технически приемлемых решений в разработке специализированных устройств. Отсутствие последних является, по-видимому, основным препятствием для практического приложения идей распознавания образов.

В [1] отражены некоторые эксперименты по распознаванию шумовых сигналов. Используемая при этом единственная разделяющая поверхность не позволяет решать многие важные задачи. Остается также открытым вопрос о распознавании более широкого класса — нестационарных процессов. Анализ работы классификатора случайных процессов КСП-32 (рис. 1), свободного от указанных недостатков, посвящена данная статья.

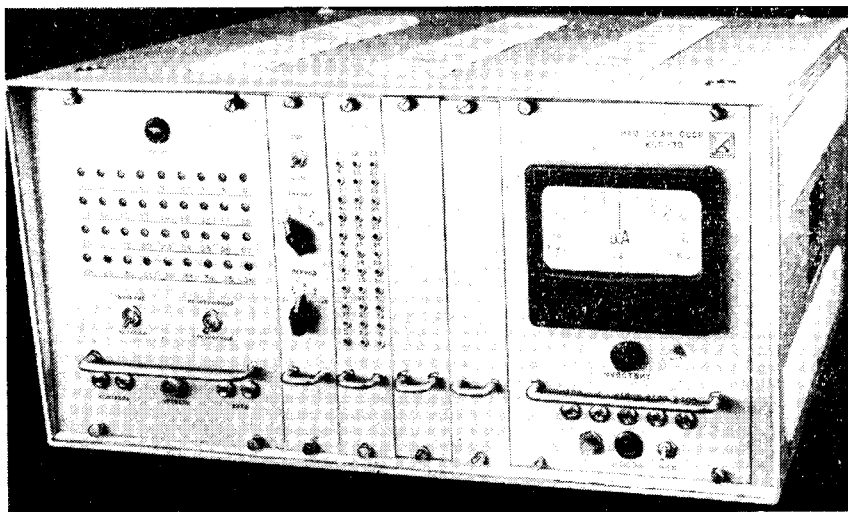


Рис. 1.

Структурная схема классификатора представлена на рис. 2. Она содержит микрофон М, ключевое устройство К, усилитель-ограничитель УО, спектральный анализатор СА, функциональный преобразователь ФП, сумматор С, пороговое устройство ПУ, индикаторное устройство ИУ, обнаружитель-синхронизатор ОС и коммутатор каналов КК. Рассмотрим алгоритм функционирования схемы и отметим особенности его работы.

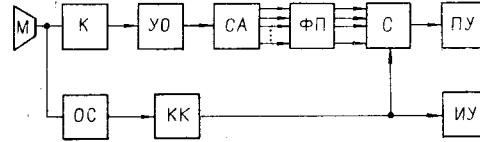


Рис. 2.

Пусть необходимо распознать импульсные сигналы на фоне гауссовых помех. Звуковые колебания, генерируемые источником возбуждения, совместно с шумовой помехой воспринимаются микрофоном. Поскольку время появления сигнала случайно, а сам сигнал является нестационарным, то необходима временная синхронизация момента формирования исходной системы признаков сигнала по отношению к его началу. Это решается с помощью обнаружителя-синхронизатора на этапах обучения и классификации. Выясним более детально характер обработки непрерывной реализации с целью обнаружения сигнала $s(t)$ произвольной формы.

Если на интервале $[0 - T]$ наблюдается реализация случайного процесса $x(t)$, необходимой операцией, оптимизирующей обработку по любому из критериев принятия решения, является формирование функционала правдоподобия [2]:

$$f[x(t)] = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{f_n(\bar{x}/s)}{f_n(\bar{x}/0)}. \quad (1)$$

Воспользовавшись разложением случайного процесса по системе ортогональных функций

$$\lambda_n v_n(t) = \int_0^T R(t - \tau) v_n(\tau) d\tau; \quad 0 \leq t \leq T, \quad (2)$$

где $R(\tau)$ — корреляционная функция помехи, нетрудно показать, что функционал правдоподобия определяется величиной

$$F[x(t)] = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum \frac{\mu_n}{(\mu_n + \lambda_n) \lambda_n} x_n^2, \quad (3)$$

где μ_n, λ_n — соответственно дисперсии коэффициентов разложения сигнала и помехи.

Принимая $\mu_n \gg \lambda_n$, т. е. форму сигнала достаточно неопределенной, выражение (3) можно упростить:

$$F[x(t)] = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum \frac{x_n^2}{\lambda_n}. \quad (4)$$

Предельное значение этой суммы определяет непрерывный характер обработки

$$F[x(t)] = \int_0^T x(t) g(t) dt, \quad (5)$$

где $g(t)$ — решение уравнения

$$x(t) = \int_0^T R(t - \tau) g(\tau) d\tau; \quad 0 \leq t \leq T. \quad (6)$$

Функционал правдоподобия двух случайных процессов принимает конечное значение, если выполняется известное условие несингулярности [3]. В общем случае это условие нарушается, а решение (6) содержит производные такого порядка, до которого дифференцирование исходного процесса невозможно. Уравнение (6) имеет реальный смысл, если обнаружение сигнала осуществляется на фоне «белого» шума. При этом

$$g(t) = x(t); \quad (7)$$

$$F[x(t)] = \int_0^T x^2(t) dt. \quad (8)$$

Как видим, при минимальной априорной информации относительно характера обнаруживаемого сигнала единственным признаком, по кото-

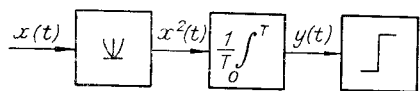


Рис. 3.

рому выносится решение, является энергия сигнала. Оценка последней реализуется с помощью элементарной схемы, содержащей квадратичный детектор, интегратор и пороговый элемент (рис. 3). Естественно, не вызывает сомнений возможность использования тако-

кого обнаружителя в условиях окрашенного шума. Обнаружитель-синхронизатор ОС в момент появления сигнала открывает ключ на входе классификатора на время, необходимое для анализа процесса.

В качестве признаков используются энергетические характеристики процесса. Анализ сигнала предшествует предварительное усиление и ограничение — клиппирование, что устраняет влияние амплитуды сигнала на распознавание. Хотя после клиппирования спектр сигнала меняется, искажения его несущественны. Выбор желаемой полосы пропускания фильтров и их центральных частот может основываться на априорной оценке спектра исходного сигнала. На рис. 4 отражены для сравнения спектры двух одинаковых сигналов длительностью 40 мс до (см. штриховые линии) и после клиппирования. Благодаря простоте аппаратной реализации, информативности в описании случайных сигналов, спектральные методы анализа являются общепризнанными.

В классификаторе КСП-32 используются десять спектральных признаков в звуковом диапазоне частот от 400 до 4000 Гц. В зависимости от спектра входных сигналов предусмотрена возможность замены блока фильтров. Решение при классификации осуществляется с использованием замкнутых решающих поверхностей.

Для каждого класса формируется собственная область признаков, попадание в одну из которых и определяет класс сигнала. Звеном структурной схемы, формирующим собственные области классов, является функциональный преобразователь. В описываемой аппаратуре области выделяются гиперкубами, уравнение поверхности каждого из них имеет вид

$$\sum_{j=1}^{10} |x_j - m_{ji}| - R_i = 0, \quad (9)$$

где m_{ji} — математическое ожидание j -го признака в i -м эталоне; R_i — значение половины диагонали гиперкуба.

Число возможных гиперкубов в значительной степени определяет потенциальные возможности аппаратуры. Описываемый классификатор

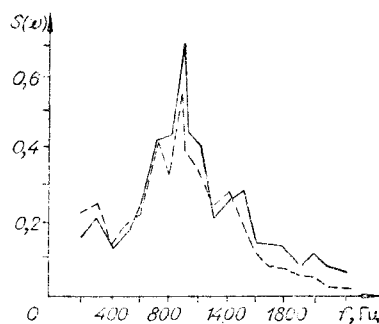


Рис. 4

КСП-32 допускает формирование областей из 32 гиперкубов. Коммутатор с частотой 20 кГц опрашивает 32 канала функционального преобразователя ФП. Формируемые при этом значения сумм (9) на выходе сумматора сравниваются с фиксированным уровнем в пороговом устройстве ПУ. Очевидно, реализация \bar{x} является внутренней точкой i -го гиперкуба, если

$$\sum_{j=1}^{10} |x_j - m_{ji}| - R_i < 0. \quad (10)$$

Формирование разделяющих поверхностей (9) достигается способом, аналогичным описываемому в [4]. Опорные напряжения средних значений признаков запоминаются на потенциометрах, установка которых выполняется оператором в процессе обучения.

Пороговое устройство содержит фиксатор уровня сигналов [5], позволяющий обучать аппаратуру для распознавания как импульсных сигналов, так и шумовых. Формирование одного гиперкуба при обучении занимает по времени 2—3 мин и сводится к следующему.

На стрелочный индикатор прибора выводится среднее значение сумм в (9) для одного из элементарных объемов. Пусть в начальный момент все опорные напряжения данного гиперкуба равны нулю. Тогда, очевидно, значение этой суммы равно $\sum_{j=1}^{10} \overline{|x_j|}$. Последовательным однократным введением опорных напряжений оператор минимизирует значение суммы. Нетрудно показать, что при этом опорные напряжения u_j окажутся равными средним значениям признаков.

Действительно, минимум суммы $\sum_i^{10} |x_j - m_{ji}|$ будет достигнут, если минимально значение каждой составляющей $|x_j - u_j|$. Как известно [6], этому условию удовлетворяет значение u_j , равное медиане распределения $f(x_j)$. Тогда для симметричного распределения, например гауссового, очевидно, что $u = m$. После определения центра эталонного гиперкуба вводится пороговый уровень R_i , меняющий объем замыкаемого пространства.

Отсутствие рекуррентных процедур обучения позволяет существенно упростить аппаратуру, сделать ее надежной и доступной для широкого применения, поэтому классификатор случайных процессов КСП-32 может использоваться как для лабораторных исследований, так и в производственных условиях.

Описываемая аппаратура используется для исследований в области звуковой дефектоскопии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. Д. Борисов, М. И. Могильницкий, А. Г. Сенин. К анализу работы классификатора шумов.— Автометрия, 1970, № 3.
2. В. Ф. Писаренко. К задаче обнаружения случайного сигнала на фоне шума.— Радиотехника и электроника, 1961, № 6.
3. К. Хелстром. Статистическая теория обнаружения сигналов. М., Изд-во иностр. лит., 1963.
4. Лукс, Дрейк. Простая адаптивная машина для обнаружения неисправностей.— Зарубежная радиоэлектроника, 1968, № 6.
5. В. Н. Вьюхин. Компараторный фиксатор уровня напряжений.— Автометрия, 1968, № 6.
6. Г. Крамер. Математические методы статистики. М., Изд-во иностр. лит., 1948.

Поступила в редакцию
24 марта 1970 г.