

ЛИТЕРАТУРА

1. У. Портер. Современные основания общей теории систем. М., «Наука», 1971.
2. Л. Заде, Ч. Дезоер. Теория линейных систем. М., «Наука» 1970
3. Ф. Р. Гантмахер. Теория матриц. М., «Наука», 1967.
7. А. И. Мальцев. Основы линейной алгебры. М., Гостехиздат, 1956.
8. И. М. Глазман, Ю. И. Любич. Конечномерный линейный анализ. М., «Наука», 1969.
9. К. Спиди, Р. Браун, Д. Гудвин. Теория управления М., «Мир», 1973.

Поступил в редакцию
14 января 1975 г.

УДК 621.391.193

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

ВОПРОСЫ ОБУЧЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ

Автоматизация процессов контроля во многих ситуациях неразрывно связана с распознаванием временных сигналов. Достаточно ограничиться такими задачами, как акустическая диагностика машин и механизмов, звуковая и ультразвуковая дефектоскопия, обнаружение и классификация шумов, чтобы оценить перспективность этих исследований для задач автоматизации.

Не затрагивая всех вопросов синтеза распознающих устройств, отметим лишь, что выбор признаков и алгоритма обучения, объем памяти и быстродействие — основные факторы, определяющие практическую полезность проектируемых распознающих систем широкого назначения. Анализ этих комплексных вопросов посвящена работа*.

В предлагаемой статье отражены некоторые новые результаты моделирования алгоритмов обучения, положенные в основу разработанного классификатора случайных процессов КСП-170, и его технические особенности, позволяющие оценить возможность приложения для конкретных задач.

Прибор (рис. 1) состоит из трех отдельных блоков: спектрального анализатора, блоков обучения и питания. Структурная схема его представлена на рис. 2.

Случайный процесс $x(t)$ нормируется по амплитуде в усилителе-ограничителе ($У—О$) так, чтобы уровень сигнала не влиял на распознавание. Нормализованный сигнал подается на 15 параллельных каналов спектрального анализатора (СА), где выделяются текущие энергетические характеристики процесса — признаки, на основе которых

* Сенин А. Г. Распознавание случайных сигналов. Новосибирск, «Наука», 1974.

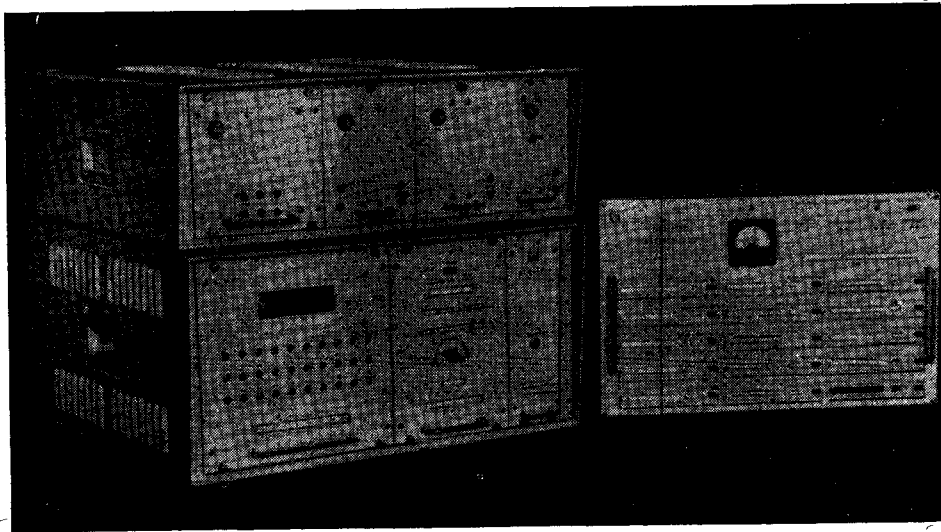


Рис. 1.

выполняется классификация. Спектральный анализатор допускает перестройку фильтров в диапазоне частот 0,1—20 000 Гц. При отключенном спектральном анализаторе возможно подключение другой системы признаков.

Для распознавания импульсных сигналов, особенно в режиме обучения, необходимо временное стробирование сигнала, благодаря чему формирование признаков и их сравнение осуществляются в фиксированном временном «окне». Эту функцию выполняет обнаружитель-синхронизатор (О—С).

Аналоговые признаки последовательно подключаются коммутатором каналов (КК) к аналого-цифровому преобразователю АЦП. Результат кодирования заносится в оперативную память АЦП — регистр вектора признаков P_x . В арифметическом устройстве АУ для каждого класса производится формирование замкнутых разделяющих областей в виде гиперсфер, значения центров и радиусов которых через регистр эталонов $P_{эт}$ записываются в запоминающее устройство (ЗУ).

Устройство управления (УУ) синхронизирует работу всех узлов прибора. При обучении и распознавании импульсных сигналов однократный запуск схемы осуществляется через обнаружитель-синхронизатор. В индикаторном устройстве (ИУ) осуществляется индикация класса неизвестного сигнала. Кроме того, цифровой индикатор выдает номер эталона, в который попадает текущая реализация. Такая допол-

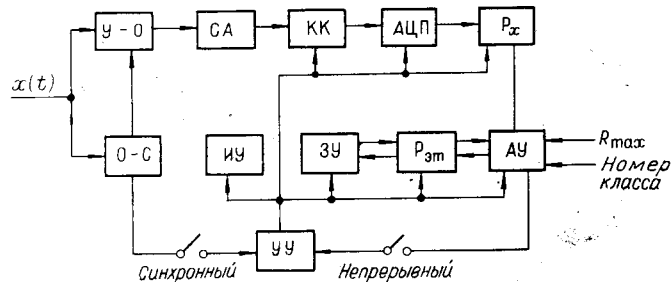


Рис. 2.

нительная индикация необходима для контроля заполнения «памяти» при обучении. Со стороны оператора в режиме обучения производится только ввод номера класса и значения максимального радиуса сферы R_{\max} .

Более детально остановимся на процедуре обучения, реализованной в приборе.

Пусть область изменения признаков одного из классов ограничена областью G (рис. 3). Задача обучения при этом сводится к аппроксимации ее с помощью элементарных фигур. В анализируемой аппаратуре это достигается гиперсферами. С учетом используемых кубов памяти КП-128/17 допустимо формирование до 170 гиперсфер.

Если ограничиться выделением области одной лишь гиперсферой, близкий к оптимальному результат можно получить, используя коррекцию параметров гиперсферы (ее центра и радиуса) согласно алгоритмам:

$$\bar{c}[n] = \begin{cases} \bar{c}[n-1], & \bar{x} \in \sigma; \\ \bar{c}[n-1] + \gamma \operatorname{sign}(\bar{x}[n] - \bar{c}[n-1]), & \bar{x} \notin \sigma; \end{cases}$$

$$R[n] = \begin{cases} R[n-1], & \bar{x} \in \sigma; \\ R[n-1] + \gamma, & \bar{x} \notin \sigma. \end{cases}$$

Результаты такого моделирования, выполненные на ЭВМ, отражены на рис. 3. Двумерная область в виде «полумесяца» охватывается единственной сферой с параметрами центра $x=y=0,5$ и $R=0,3$. Оценки этих параметров с использованием рекуррентных алгоритмов нанесены на рис. 3. Как видно, сформированная область достаточно близко аппроксимирует исходную.

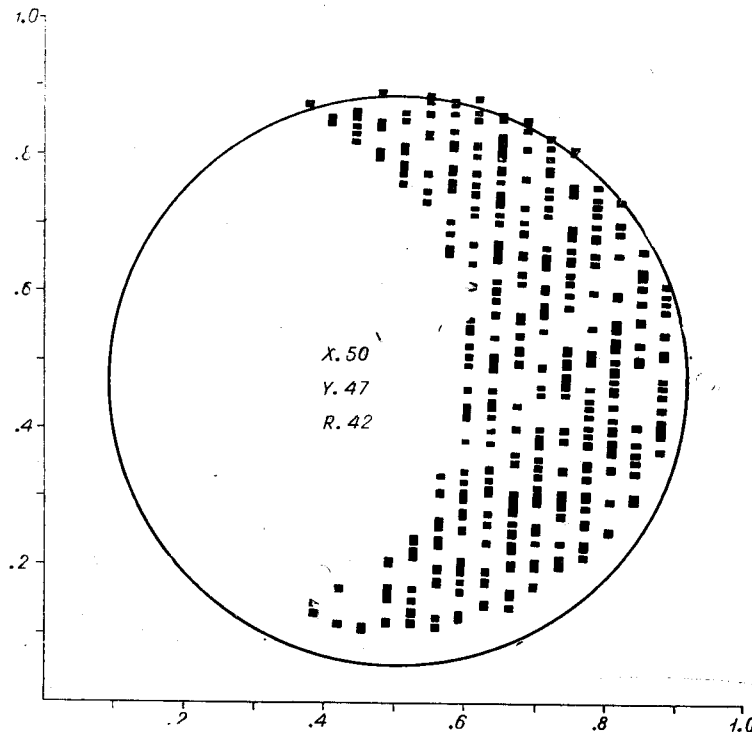


Рис. 3.

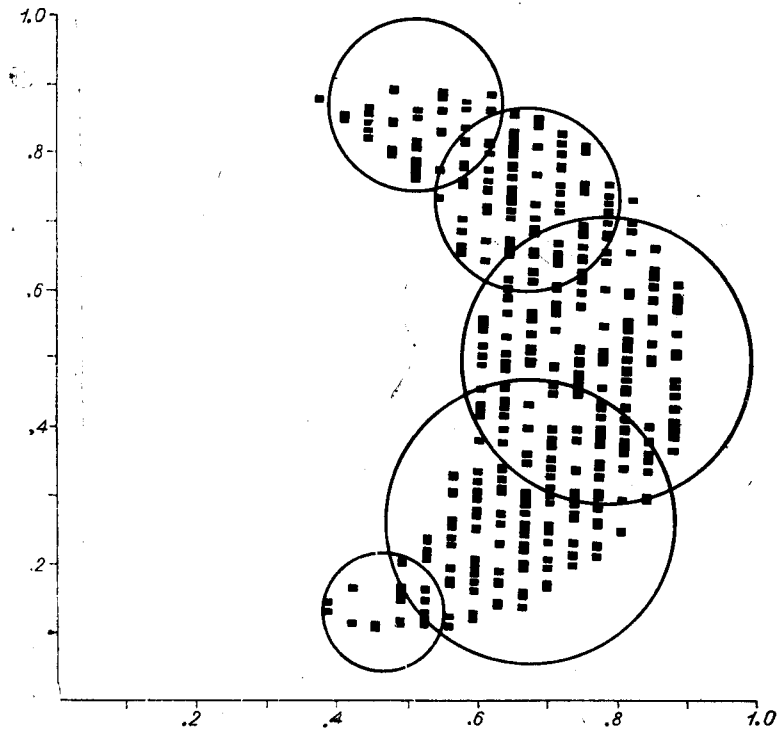


Рис. 4.

Несущественно усложняется алгоритм формирования областей при кусочной аппроксимации, когда желаемая область выделяется несколькими пересекающимися гиперсферами.

Первая реализация обучающей выборки охватывается сферой минимального радиуса R_{\min} и центром с координатами этой точки. Последующие точки образуют новые эталоны, если расстояние от них до какого-либо из центров ранее сформированных сфер больше максимально допустимого R_{\max} . Если это расстояние меньше R_{\max} , тогда осуществляется коррекция той сферы, центр которой ближе всего к наблюдаемой реализации. Результаты такого моделирования отражены на рис. 4. Разрешающая способность прибора или возможность различения двух достаточно близких по спектру сигналов определяются точностью представления признаков. В рассматриваемом приборе она составляет 3%.

На рис. 5 представлены спектры двух шумовых процессов, которые различаются прибором безошибочно. Рис. 6 отражает спектры двух импульсных сигналов — собственные колебания двух металлических заготовок при ударном возбуждении, которые также различаются без ошибок.

Классификатор случайных процессов позволяет распознавать как шумовые, так и импульсные сигналы. В последнем случае важной характеристикой является быстродействие прибора, что в реальных условиях накладывает ограничение на длительность сигнала и частоту

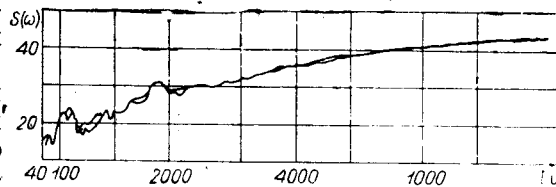


Рис. 5.

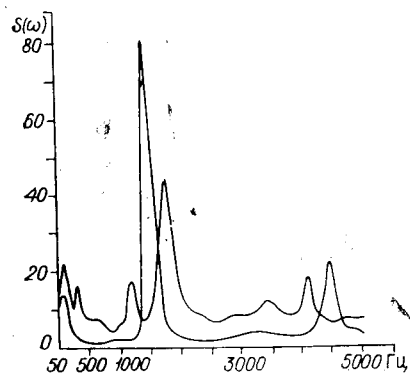


Рис. 6.

следования его. Если длительность сигнала ограничивается быстродействием АЦП, которое для данного прибора составляет 30 мкс, то частота следования импульса лимитируется временем обращения к памяти и ее объемом. 170 эталонов памяти «просматриваются» и сравниваются с текущим вектором признаков, записанным в регистре P_x , за 10 мс. Таким образом, частота следования импульсов не должна превышать 100 имп/с.

Технические характеристики разработанной аппаратуры удовлетворяют практически всем необходимым условиям при распознавании случайных процессов. Реализованные алгоритмы обучения позволяют успешно использовать ее в условиях минимальной априорной информации относительно статистических свойств распознаваемых сигналов. Благодаря классификации в реальном масштабе времени, простоте обслуживания, надежности в работе, прибор может использоваться как в производственных условиях, так и для лабораторных исследований по распознаванию образов.

Поступила в редакцию
19 мая 1975 г.