

УДК 621.391

Г. Ф. КРИВУЛЯ, канд. техн. наук, **А. Н. КУЗНЕЦОВ**
**РАСПОЗНАВАНИЕ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ
И ДИАГНОСТИКИ**

Известны различные способы отображения случайного сигнала: временным дискретным рядом, путем квантования сигнала по амплитуде и времени, временным рядом значений изменения его основных параметров — амплитуды, частоты и фазы, а также с помощью параллельного и последовательного спектрального анализа.

Временной анализ сигналов — наиболее скоростной способ преобразования. Но полученные после преобразования численные значения требуют сложных алгоритмов обработки. Так, временной ряд, полученный в результате квантования сигнала по времени и амплитуде, подвергают обработке для определения его закономерностей. Такая обработка требует построения аппроксимирующих функций, которые обычно нелинейные и для их решения необходимо много вычислительного времени. Разработанный в настоящее время математический аппарат анализа временных рядов больше подходит для задач прогнозирования, чем для задач распознавания.

Спектральное преобразование сигнала с последовательным анализом дает выигрыш в аппаратуре и очень низкую достоверность каждого отдельного выборочного спектра сигнала. Здесь имеется в виду достоверность выборочного спектра, содержащего набор частот, по отношению ко всему спектру частот анализируемого сигнала. Формирование пространства характерных признаков по выборочным спектрам имеет тот существенный недостаток, что входящие в эти спектры частоты с течением времени будут изменяться. Только при достаточно длительном времени наблюдения и многократно повторенной анализируемой информации можно сформировать подлинный спектр сигнала, представляющий собой математический предел суммы выборочных спектров при неограниченном увеличении времени наблюдения $T_{\text{набд}}$.

Спектральное преобразование сигнала с параллельным анализом лишено недостатков последовательного анализа (достоверность выборочного спектра) и может быть применено для формирования пространства характерных признаков сигнала. Однако ограничения, накладываемые на диапазон анализируемых частот при высокой разрешающей способности анализатора, не позволяют аппаратурно просто построить такой анализатор. Кроме того, время анализатора частоты ограничено полосой пропускания.

Способ выявления скрытых периодичностей исследуемого сигнала для формирования пространства и его характерных признаков является самым приемлемым. Данный способ [1], согласно нашим исследованиям, давал хорошие результаты приближения исходного процесса к аппроксимирующей функции. Однако существенным недостатком его является неоднозначность выделяемых периодических составляющих для одного и того же сигнала, т.е. количество периодических составляющих и их период могут изменяться

в зависимости от поступающей информации для одного и того же сигнала. Это снижает достоверность распознавания. Кроме того, время машинной обработки алгоритма выделения периодических составляющих с учетом аппроксимации всех трех параметров сигнала (амплитуды, частоты и фазы) исчисляются десятками минут на цифровой ЭВМ ЕС-1022.

Амплитудно-временное преобразование сигналов. Авторами статьи разработано амплитудно-временное преобразование случайных сигналов [2, 3], которое уменьшает погрешность распознавания сигналов по сравнению с известными преобразованиями.

Рассмотрим амплитудно-временное преобразование синусоидального сигнала с начальной нулевой фазой $U(t) = U_m \sin \omega t$.

Диапазон изменения амплитуды сигнала разобьем на m равномерных уровней с приращением амплитуды на каждом уровне ΔU . Тогда текущая амплитуда сигнала $U(t)$ может быть выражена следующим образом: $U(t) = j\Delta U$, где j — текущий номер уровня ($j=0, 1, 2, \dots, m-1$).

Временные интервалы Δt_j , измеренные между точками пересечения синусоиды с каждым уровнем, представляют время существования сигнала на каждом уровне. Нетрудно убедиться, что закон изменения временных интервалов является функцией, обратной исходной, и для данного примера — это \arcsin .

Обозначим приращение времени на j -м уровне δt_j . Тогда получим $j\Delta U = m\Delta U \sin \omega \delta t_j$, откуда $\delta t_j = \frac{1}{\omega} \arcsin k_j$, где $k_j = \frac{j}{m}$ — коэффициент пропорциональности текущего номера уровня j .

Время существования сигнала на j -м уровне определим как разность значений полупериода сигнала и двух приращений времени, т. е.

$$\Delta t_j = \frac{\pi}{\omega} - 2\delta t_j = \frac{1}{\omega} (\pi - 2\arcsin k_j).$$

Из полученного соотношения видно, что временной интервал Δt_j является функцией частоты ω и амплитуды $U(t)$, так как коэффициент $k_j = \frac{U(t)}{m\Delta U}$.

При постоянной частоте исходного синусоидального сигнала $\omega = \text{const}$ значения Δt_j будут являться функцией амплитуды

$$U(t): \Delta t_j = \frac{c_j}{\omega_j}, \text{ где } c_j = \pi - 2\arcsin k_j.$$

В общем случае, когда частота сигнала изменяется, получим $\Delta t_{ij} = \frac{c_j}{\omega_i}$. Здесь Δt_{ij} — время существования сигнала, имеющего частоту ω_i ($i=1, 2, \dots, n$), измеренное на j -м уровне квантования ($j=0, 1, 2, \dots, m-1$).

Измерив за определенное время с заданной точностью значения Δt_{ij} , получим матрицу $A = \|\Delta t_{ij}\|$ размерностью $n \times m$. Столб-

цы матрицы A представляют собой значения, характеризующие изменение амплитуды и формы сигнала при постоянной частоте ω_i . Строки матрицы A отражают наличие различных частот на определенном уровне.

Таким образом, в матрице A имеется информация о параметрах исходного сигнала. Эти параметры могут быть определены соответствующей обработкой полученных временных интервалов. При равномерном квантовании по уровню закон изменения временных интервалов в зависимости от номера уровня представляет собой функцию \arcsin .

Переходя от рассмотрения временной функции сигнала к функции времени существования сигнала по дискретным уровням амплитуды, т. е. выполнив преобразование временной функции сигнала $U(t)$ в функцию изменения по уровням времени существования сигнала $I_j(\Delta t_j)$, построим пространство признаков исследуемого сигнала в виде дискретных значений, которые удобно использовать для обработки в цифровых ЭВМ.

Пример формирования пространства признаков сигнала. В качестве примера используем приведенные в [4] кривые осциллограмм мужских и женских голосов, полученные при произношении слова «шесть». Указанные графики сигналов проквантуем равномерно по амплитуде на 10 эталонных уровней, на каждом уровне измерим время существования сигнала, используя описанный выше принцип. Полученные числовые данные усредним. Усредненные значения $\overline{\Delta t_j}$ по каждому уровню j нанесем на график $U_j(\Delta t)$.

Для иллюстрации характера изменения величин $\overline{\Delta t_j}$ по уровням условно соединим их между собою. На рис. 1 показаны преобразованные в координатах $U_j(\overline{\Delta t_j})$ кривые осциллограмм, взятые из [4]. Распознавать полученные в результате преобразования $U(t) \rightarrow U_j(\overline{\Delta t_j})$ кривые значительно проще, чем исходные. Критериями различения будут являться средние значения величин временных интервалов $\overline{\Delta t_j}$ на каждом уровне квантования и область задания этих величин $2\varepsilon_j$. На рис. 1 область задания 2ε нанесена пунктирной линией. Эта область характеризует пространство признаков эталонных сигналов, причем слежение за всеми полученными значениями $\overline{\Delta t_j}$ ведется по всем уровням одновременно. Выбор интервала 2ε определяется на основании данных, полученных при обработке эталонных сигналов.

В данном примере граница интервала 2ε определяется кривой 1 и 2, т. е. их максимальные и минимальные значения $\overline{\Delta t_j}$ определяют границы интервала, зная априори, что эти кривые принадлежат одному классу сигналов.

Попадание отдельных значений $\overline{\Delta t_j}$ неизвестного сигнала в область 2ε не означает еще принадлежности этого сигнала к

данной области, а значит, и подобия его эталонному сигналу. Отношение числа $\overline{\Delta t_j}$, попавших в интервал 2ϵ , к максимальному числу m характеризует коэффициент подобия исследуемого сигнала эталонному: $\eta = N/m$, где N — число средних значений временных интервалов Δt_j по уровням j , попавших в интервал 2ϵ ; m — число уровней квантования; $j=0, 1, 2, \dots, m-1$.

Коэффициент подобия η изменяется в пределах $0 \leq \eta \leq 1$. Значению $\eta=1$ соответствует полное подобие исследуемого

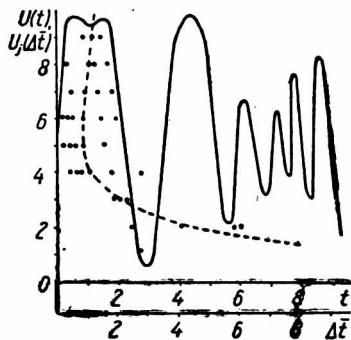
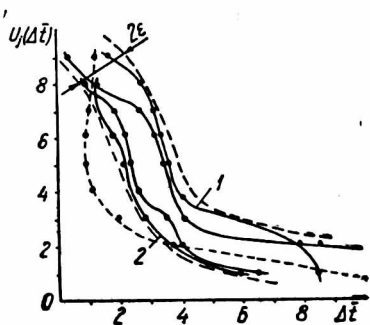


Рис. 1. Преобразованные осциллограммы

Рис. 2. Пример случайного сигнала

сигнала эталонному, значению $\eta=0,5$ соответствует неопределенность распознавания. Таким образом, интервалу значений коэффициента подобия, равному $0,5 < \eta \leq 1$, эквивалентна принадлежность распознаваемого сигнала и эталонного одному классу, а интервалу значений этого коэффициента, равному $0 < \eta < 0,5$, — принадлежность разным классам. Численные значения коэффициента подобия (при прочих равных условиях) будут характеризовать величину погрешности распознавания, которая зависит от многих факторов, в частности, и от вида распознаваемого сигнала.

На рис. 2 показаны случайный сигнал $U(t)$ и полученная условная кривая преобразования этого сигнала в координатах $U_j(\Delta t_j)$. Данная кривая нанесена и на рис. 1 при соблюдении единого масштаба обоих рисунков (1 и 2). Как видно из рис. 1, этот сигнал не подобен сигналам, определяемым областью 2ϵ , поскольку его коэффициент подобия $\eta < 0,5$. Структура сигнала определяет погрешность распознавания. Так как описанный способ предполагает усреднение величин Δt_j , то при этом сглаживается информация об изменении временных интервалов во времени, что является его недостатком. Поэтому те сигналы, которые классифицированы как одинаковые по усредненным $\overline{\Delta t_j}$, могут быть разными, например, по структуре чередования всплесков амплитуды.

Однако на практике распознающие системы создаются, как правило, для определенного, конечного числа распознаваемых классов сигналов (диагностические системы в медицине, системы контроля и диагностики радиоэлектронных устройств, диагностика машин и механизмов и др.). Техническое устройство затруднительно обучить на ограниченном пространстве признаков тонкому механизму распознавания любых сигналов. В этой связи представляется целесообразным использование таких простых методов построения пространства признаков (как описанный выше), которые в сочетании со статистическим методом обработки результатов распознавания могут дать хороший эффект для конкретных задач.

• **Список литературы:** 1. *Серебренников М. Г., Первозванский А. А.* Выявление скрытых периодичностей. — М.: Наука, 1965.—244 с. 2. *Кривуля Г. Ф., Кузнецов А. Н., Кузьменко А. Г. А.* с. 568963 (СССР). Способ распознавания речевого сигнала. — Оpubл. в Б. И., 1977, № 30, с. 127. 3. *Кривуля Г. Ф., Кузнецов А. Н., Кузьменко А. Г. А.* с. 657454 (СССР). Способ распознавания речевого сигнала. — Оpubл. в Б. И., 1979, № 14, с. 210. 4. *Логинов В. М., Цепков Г. В., Чинаев П. И.* Экономичное кодирование. — Киев: Техніка, 1976.—176 с.

Поступила в редколлегию 05.03.81.