

## АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНЫХ ПРИЗНАКОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ПРИЗНАКАМ

Важным этапом алгоритмов распознавания является выделение минимума информативных параметров и последующее сжатие объема обрабатываемой информации. Как известно, переход в спектральную область, основанный на интегрирующем преобразовании исследуемого процесса, обеспечивает сжатие объема информации и, соответственно, времени обработки. При этом сжатие объема информации возрастает с уменьшением эффективной ширины спектра радиосигналов, что открывает возможности обработки в квазиреальном времени.

Набор информативных параметров определяется многими факторами, среди которых наиболее существенны метод и погрешность преобразования. Отметим, что задача выделения минимального количества информативных параметров при сохранении максимума количества информации об анализируемом сигнале для априорно неизвестных моноимпульсных сигналов на фоне непериодических помех в настоящее время не нашла окончательного однозначного решения. Вместе с тем, большинство разработанных алгоритмов анализа сигналов основано на применении численных методов, которые реализуются цифровой фильтрацией на аппаратном или программном уровнях. В данной работе распознаваемые сигналы представляют собой радиосимпульсы с различной амплитудной огибающей, в частности, будем рассматривать наиболее часто применяемые импульсные радиосигналы с огибающей типа функции Хэмминга и колоколообразной огибающей  $e^{-x^2/2a^2}$ . Сумма их мгновенных спектров  $S(\omega)$  представляет монотонную зависимость с несколькими максимумами.

Традиционно идентификация по спектральным признакам строится на базе отсчетов огибающей  $S(\omega)$  мгновенных спектров. Однако, простое выделение отсчетов спектра как информативных параметров не всегда сопровождается их устойчивостью при случайных изменениях амплитудных значений сигналов.

Анализ показывает, что более надежными и более устойчивыми признаками являются:

- частоты максимумов спектра  $f_m$ ;
- ширина спектра на различных относительных уровнях  $\Delta f_n$ , где  $n$  - уровень отсчета (0,7; 0,5);
- коэффициент прямоугольности  $K_n$  огибающей спектра  $K_{nNM} = \Delta f_N / \Delta f_M$ , где  $N, M$  - уровни отсчета в пределах  $N \in (0,5..0,8)$ ,  $M \in (0,001..0,01)$ .

Перечисленные признаки можно представить как множества:  $x_{1m} \in (f_m)$ ;  $x_{2m} \in (\Delta f_n)$ ;  $x_{3m} \in (K_{nNM})$ .

Таким образом общее количество признаков может быть достаточно большим, так как

$x_{1m} \in (x_1; x_2 \dots x_l)$ , где  $l$  - количество максимумов спектра;

$x_{2m} \in (x_1; x_2 \dots x_j)$ , где  $j$  - количество уровней отсчета ширины спектра;

$x_{3m} \in (x_1; x_2 \dots x_i)$ , где  $i$  - количество уровней, по которым вычисляется коэффициент прямоугольности  $K_{nNM}$ .

Спектр одного сигнала имеет один максимум и гладкую огибающую и, следовательно, первое множество признаков будет иметь только одно значение, то есть  $x_{1m} = x_1$ .

Из второго и третьего множеств признаков первоначально будем использовать по одному признаку и, соответственно, задача распознавания заключается в выделении сигналов одного класса  $\Omega_1$  или  $\Omega_2$ , ( $\Omega_1(x_1, x_2, x_3)$  - класс радиосигналов с огибающей типа функции Хэмминга, а  $\Omega_2(x_1, x_2, x_3)$  - класс радиосигналов с колоколообразной огибающей), когда они одновременно поступают на устройство распознавания.

Как известно, если вероятность принятия правильного решения окажется ниже заданной, количество признаков  $X$  нужно увеличить.

Поскольку анализируемые радиосигналы представляют короткие радиоимпульсы, для формирования их мгновенных спектров применяется дисперсионный Фурье-процессор. Его отклик при достаточно большом числе отсчетов мгновенного спектра представляет преобразование Фурье входного воздействия. Соответственно на выходе дисперсионного Фурье процессора получим

$$|S(\omega)| = \sqrt{|S_1^2(\omega, \omega_{01}, T_1)| + |S_2^2(\omega, \omega_{02}, T_2, \tau)| + 2 \cdot S_2(\omega, \omega_{01}, T_1) \cdot S_2(\omega, \omega_{02}, T_2, \tau) \cdot \cos(\varphi)}, \quad (1)$$

$$\text{где } S_1(\omega, \omega_{01}, T_1) = 0,54 A_1 \operatorname{sinc}\left(\frac{\omega - \omega_{01}}{2} T_1\right) + 0,23 A_1 \operatorname{sinc}\left(\frac{\omega - \omega_{01}}{2} T_1 + \pi\right) + 0,23 A_1 \operatorname{sinc}\left(\frac{\omega - \omega_{01}}{2} T_1 - \pi\right), \quad (2)$$

– мгновенный спектр радиоимпульса с огибающей типа функции Хэмминга,

$$S_2(\omega, \omega_{02}, T_2) = \sqrt{2\pi} A_2 a \cdot e^{-\frac{(\omega - \omega_{02})^2}{2} a^2}, \quad (3)$$

где  $a = T_2 / \left(2 \sqrt{2 \ln \frac{1}{g}}\right)$ ;  $g = 0.01, 0.005, 0.001$ . – мгновенный спектр колоколообразного

радиоимпульса,  $\varphi = \omega\tau$  – фазовый сдвиг с учетом временного запаздывания второго сигнала относительно первого.

Приведенное соотношение (1) учитывает как различие радиоимпульсов по длительности, так и временное запаздывание относительно друг друга.

Спектральные характеристики рассматриваемых сигналов классов  $\Omega_1$  и  $\Omega_2$  без временного запаздывания приведены на рис.1 (кривая 1), где  $S_m$  – нормированный суммарный спектр. Влияние временного запаздывания на спектр суммарного сигнала для случаев относительного запаздывания  $\tau = 2T_1$  иллюстрируется кривой 2 на рис.1.

Параметры реальных сигналов описываются стохастическими

зависимостями. Для исследования вероятностных характеристик предложенных информативных признаков будем предполагать, что распределение плотности вероятностей  $P_2(x_1)$  центральной частоты  $\omega_{02}$  радиоимпульса класса  $\Omega_2$  описывается нормальным законом:  $\omega_{02} = \omega_{01} + \Delta + \sigma \cdot Rnd$ , где  $\Delta = (\omega_{02} - \omega_{01})$  – смещение начального положения максимума  $\omega_{02}$  спектра радиосигнала класса  $\Omega_2$  относительно максимума спектра радиосигнала класса  $\Omega_1$ ;  $Rnd$  – случайное число с нормальным распределением;  $\sigma$  – дисперсия.

С учетом этого определялись плотности вероятностей трех информативных признаков для радиоимпульса класса  $\Omega_1$ .

Для общего случая принимаем равные вероятности появления обоих классов сигналов:  $P(\Omega_1) = P(\Omega_2) = 0,5$ .

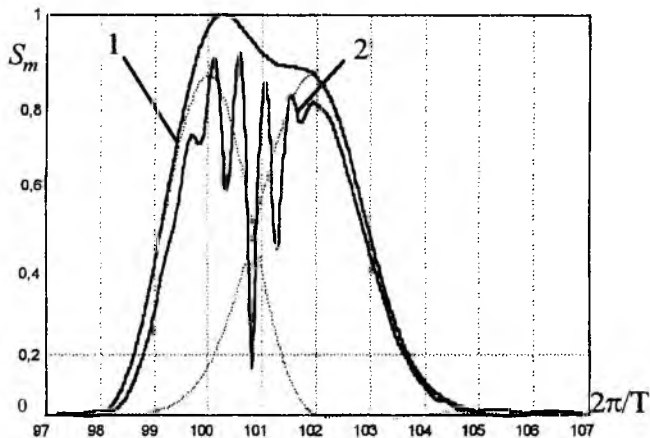


Рис. 1

Рассмотрим первый признак  $x_1$  (центральную частоту), начальное значение которого для класса  $\Omega_1$  равно  $\omega_{01} = 100 \cdot 2\pi/T$  и, соответственно для класса  $\Omega_2 - \omega_{02} = 101 \cdot 2\pi/T$ .

Исследования плотности вероятности признака  $P_1(x_1)$  выполнялись при следующих условиях:

- имеет место влияние фазы каждого сигнала на суммарный сигнал (рис. 1);
- расстояние между максимумами спектров изменяется в пределах  $\{0,5 \dots 1,5\} \cdot 2\pi/T$ ;
- имеется различие амплитуд сигналов ( $A_1/A_2 = \{0,001 \dots 1; 1 \dots 1000\}$ );
- имеется различие длительностей сигналов ( $T_1 = \{0,5 \dots 1,5\} \cdot T_2$ );
- изменение дисперсии  $x_1$  одного из сигналов равно  $\{0,2 \dots 1\} \cdot 2\pi/T$ .

На рис. 2, (кривая 1) изображен график плотности вероятности центральной частоты  $P_1(x_1)$  без временного запаздывания ( $\tau = 0$ ) при одинаковых амплитудах основного сигнала и сигнала-помехи. При вводе временного запаздывания сигнала-помехи относительно основного сигнала ( $\tau = 2T_1$ ) форма графика плотности вероятности изменяется (рис. 2, кривая 2) из-за появления осцилляций, характерных для спектра сигнала, представляющего собой сумму сигналов с временным запаздыванием (рис. 1, кривая 2).

При увеличении дисперсии  $x_1$  сигнала-помехи до величины  $2\pi/T$  на графике  $P_1(x_1)$  (рис. 2, кривая 3) наблюдается появление всплесков. Это объясняется совмещением спектров сигнала-помехи и основного сигнала или значительным их удалением, что вносит некоторые погрешности при измерении центральной частоты суммарного сигнала.

При уменьшении расстояния между максимумами спектров основного сигнала и сигнала-помехи плотность вероятности напоминает нормальный закон распределения, так как в этом случае сигнал-помеха, фактически перекрывает основной сигнал. В случае же, когда сигнал-помеха удален от основного сигнала, график плотности вероятности имеет один всплеск

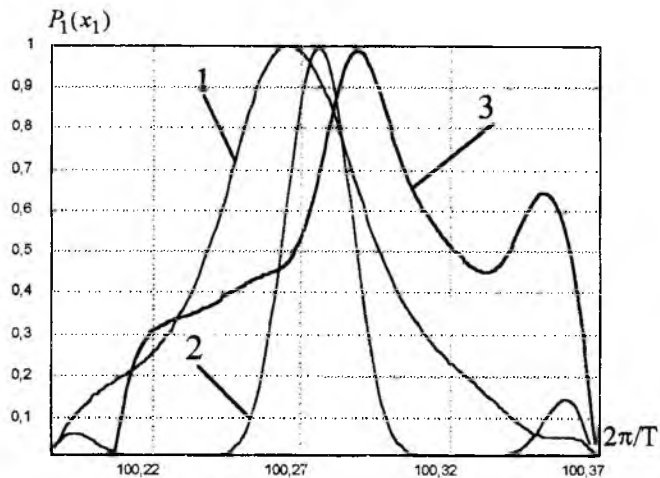


Рис. 2

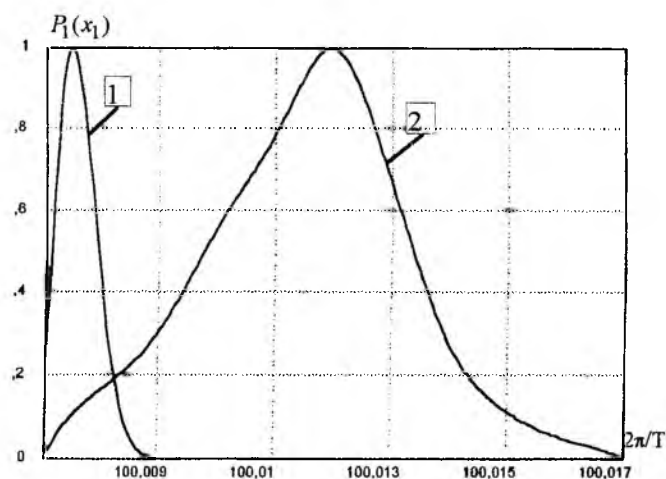


Рис. 3

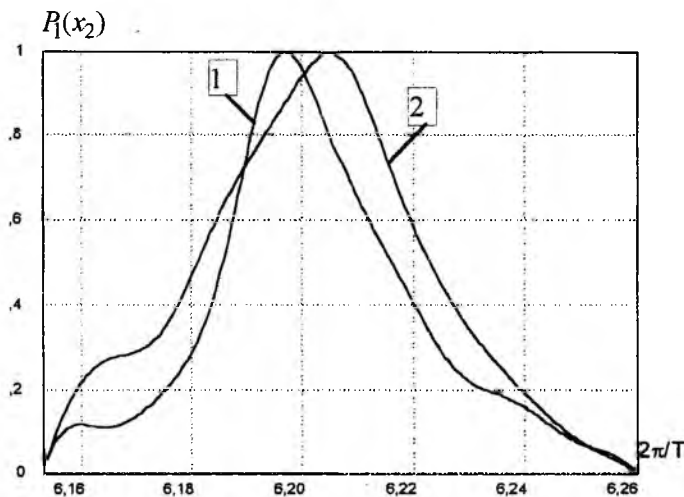


Рис. 4

с очень узкой формой из-за того, что сигнал-помеха фактически не влияет на основной сигнал. Если амплитуда основного сигнала существенно превышает амплитуду сигнала-помехи ( $D = A_1/A_2 = 50$ ), то максимум  $P_1(x_1)$  смещается в сторону максимума спектра основного сигнала, что иллюстрируется на рис.3 (кривая 1).

Когда же амплитуда сигнала-помехи превышает амплитуду основного сигнала ( $D = A_1/A_2 = 1/50$ ),  $P_1(x_1)$  близка к нормальному закону распределения и ее максимум смещается в сторону максимума спектра сигнала-помехи (рис.3, кривая 2).

При уменьшении, как и при увеличении длительности основного сигнала, плотность вероятности его центральной частоты фактически не изменяется; при уменьшении длительности сигнала-помехи максимум плотности вероятности центральной частоты суммарного сигнала смещается в сторону максимума спектра основного сигнала, так как уменьшается влияние сигнала-помехи на основной сигнал; в случае же увеличения длительности сигнала-помехи на графике плотности вероятности появляются всплески.

При рассмотрении второго признака  $x_2$  (ширины спектра) учитывались начальные условия для признака  $x_1$ . На рис. 4, кривая 1 изображен график  $P_1(x_2)$  без учета временного запаздывания. При вводе временного запаздывания форма огибающей фактически не изменяется, однако максимальное значение смещается в сторону увеличения (рис. 4, кривая 2). Та же картина наблюдается при увеличении расстояния между максимумами спектров основного сигнала и сигнала-помехи и увеличении дисперсии центральной частоты сигнала-помехи, а также при изменении отношения амплитуд сигналов.

Анализ третьего признака  $x_1$  (коэффициента прямоугольности) показывает, что он устойчив как к изменению длительности сигналов (рис. 5), так и других параметров сигналов, рассмотренных при анализе первых двух признаков, кроме того он инвариантен по отношению к изменению полосы пропускания и центральной частоты.

Таким образом при решении задачи распознавания импульсных радиосигналов можно использовать такие признаки как: центральная частота, полоса пропускания и коэффициент прямоугольности спектральной характеристики сигнала.

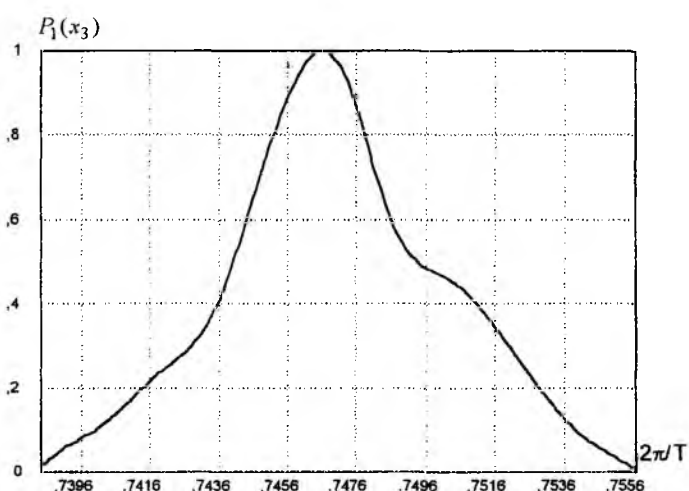


Рис. 5

**Список литературы:** 1. *Измерение несущей частоты наносекундных импульсов спектральным методом* / Письменецкий В.А., Бородин А.В., Платонов П.И.: Харьков. техн. ун-т радиоэлектроники. - Харьков, 1996. - 10 с.: ил. - Библиогр.: 2 назв. - Рус. Деп. в ГНТБ Украины. 2. *Горелик А.Л. Скрипкин В.А. Методы распознавания.* Москва. Высш. шк. 1989. 232с.