ОБНАРУЖЕНИЕ СИГНАЛОВ ППРЧ В КВ ДИАПАЗОНЕ

К.В. Устюжанин, В.Г. Ланских, К.Н. Крашенинников, НПП «Знак», г. Киров, Россия

В настоящее время в средствах радиосвязи все большую популярность приобретает тип передачи сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ). Основной отличительной особенностью этого типа радиосигнала является то, что несущая частота периодически меняется в псевдослучайной последовательности, которая определяется исходным ключом на станциях передачи и приема.

Основная сложность задачи обнаружения сигналов с ППРЧ в КВ диапазоне заключается в выделении узких временных отрезков сигнала (порядка 0,2 секунды) с малой шириной спектра (порядка 10 кГц) в широком диапазоне спектра (порядка 256 кГц). Данная задача усложняется тем, что из-за передачи в широкой полосе частот возможна неоднородность шума в этой полосе и наличие иных постоянно работающих источников радиоизлучения (ИРИ).

Для учета неоднородностей шумов в сигнале ППРЧ необходимо представить его в 3^x мерном виде. По вертикальной оси будет откладываться амплитуда спектральных составляющих, а двум другим время и частота соответственно. В этом случае ППРЧ представляет собой набор пиков на плоскости, причем одному значению времени t может соответствовать лишь один пик.

Для выявления этих пиков необходимо выбрать поверхность F(t,f), которая учитывала бы неоднородность шума и, в то же самое время, значения амплитуд спектральных составляющих, превышающих значение F(t,f) считались бы всплесками мощности. Для определения значений F(t,f) во всех возможных точках (t,f) можно воспользоваться формулой скользящей средней, но с учетом ее адаптации для плоскости.

Для вычисления значения $F(t,f_0)$ в точке (t,f_0) вначале вычисляются скользящие средние на частотах $f_i \in (f_1, f_2)$, причем $f_2 - f_1 = \Delta f$ и $f_0 = \frac{f_1 + f_2}{2}$ по формуле (1).

$$j(t, f_i) = aA(t, f_i) + (1-a)j(t-1, f_i), \qquad (1)$$

где

$j(t, f_i)$ и $j(t-1, f_i)$ - значения отсекающей плоскости в точке (t, f_i) и $(t-1, f_i)$;

$A(t, f_i)$ - амплитуда гармоники в точке (t, f_i).

Для учета изменения сигнальной обстановки во времени выбирается значение $t_з$. Кроме того, необходимо подобрать коэффициент α таким образом, чтобы спектральная составляющая $A(t - t_з, f_i)$ вносила вклад порядка 5% в результирующую $j(t, f_i)$.

Начальное значение $j\,(t_0,\,f_i)$ берется исходя из мгновенного значения амплитуды спектра на частоте f_i в момент времени t_0.

Пусть t - количество секунд, соответствующих одному спектральному отсчету. Тогда порядковый номер x спектральной составляющей $A(t,\,f_i)$ ищется по формуле (2).

$$x = \frac{t_3}{t}, \qquad (2)$$

Спектральная составляющая с номером x вносит в результат $j\,(t,\,f_i)$ соответственно $a\,(1-a)^{x-1}$ процентов своего значения. Следовательно, коэффициент a надо выбирать таким образом, чтобы выполнялось неравенство (3).

$$a\,(1-a)^{x-1} \le 0{,}05 \qquad (3)$$

Пусть μ – количество Гц, соответствующих одной спектральной составляющей, тогда результирующее значение отсекающей поверхности определяется по формуле (4)

$$F\,(t,\,f_0) = \sum_{i=-N}^{N} b_{|i|}\,j\,(t,\,f_0 + mi) \qquad (4)$$

Далее для каждой точки (t,f) вычисляем значения $\Pi(t,\,f)$. В случае превышения уровня спектральной составляющей значения отсекающей плоскости в этой точки $\Pi(t,\,f) = 1$, иначе 0. Для минимизации «ложных» кратковременных переключений (дребезг) требуется применять простейшую фильтрацию типа «гистерезис».

В полученной матрице П необходимо провести кластеризацию, с целью группировки всплесков спектральной мощности. Размер кластера определяется исходя из параметров сигнала ППРЧ. Для КВ диапазона он обычно составляет 3 кГц по оси частот и 0,2 сек. по оси времени.

Для решения данной задачи лучше всего воспользоваться стандартным алгоритмом FOREL. Он сформирует в исходной матрице кластеры указанных размеров.

Пространство за пределами кластеров необходимо обнулить. Пространство внутри кластеров заполняется единицами и получается новая матрица.

Далее определяется то количество кластеров ППРЧ Хп, которое за время наблюдения может попасть на одинаковую частоту с вероятностью 0,05(5%). После постановки задачи теории вероятности, при вычислениях было получено, что для времени наблюдения $t_н$=30 секунд, и параметров сигнала ППРЧ для КВ диапазона, Хп= 7.

Теперь в этом сигнале длительностью 30 секунд производим подсчет кластеров на каждой из частот. Направление перебора частот слева направо. Подсчет кластеров производится лишь на тех частотах, на которых они существуют. Кластер не входит в суммирование, если его центр находится за пределами кластера, определяющего полосу суммирования.

Если на какой-либо частоте Хп> 7, то все они обнуляются, т.к. считается, что эти кластеры возникли из-за сигналов постоянно действующих ИРИ. Далее обнуляются кластеры, идущие друг за другом по оси времени на одной частоте. Данная операция позволит исключить из рассмотрения короткие по времени фрагменты блочных сигналов, но с общей длительностью большей, чем у сигналов ППРЧ, таким примером могут служить сигналы НС-1 (азбука Морзе).

Далее осуществляется проверка на наличие двух кластеров в одном временном промежутке. В случае обнаружения такой ситуации происходит обнуление первого из них. Теперь можно осуществлять проверку на наличие ППРЧ, т.к. все посторонние сигналы с определенной степенью вероятности были удалены. Исходя из длительности одного кластера (tи) в Т секундах сигнала в идеальном случае должно находиться $\frac{T}{t_и}$ кластеров.

Таким образом, предложенный алгоритм опробирован на реальных сигналах и позволяет решить задачу обнаружения сигналов с ППРЧ при неоднородности шума и наличия иных постоянно работающих ИРИ в полосе частот. Кроме того, действие алгоритма основано на обработке данных в виде 2-мерных матриц, что позволяет достичь высокого быстродействия и малого потребления вычислительных ресурсов ЭВМ.