УДК 007.51:004.93'12

РАСПОЗНАВАНИЕ СИГНАЛА ПРИ ЧАСТИЧНОМ ПЕРЕКРЫТИИ ЕГО СПЕКТРА ПОМЕХОЙ

В. В. Авраменко, *канд. техн. наук, доцент;*
Ю. И. Прохненко, *аспирант,*
Сумский государственный университет, г. Сумы

Разработан метод распознавания эталонного сигнала при наличии помехи, спектральная характеристика которой частично перекрывает соответствующую спектральную характеристику полезного сигнала на заведомо неизвестных частотах. Зависимость между эталонным и исследуемым сигналами находится с помощью функций непропорциональностей.

Ключевые слова*: сигнал, эталон, спектр, спектральная характеристика, спектральная плотность, гармоника, функции непропорциональностей.*

Розроблено метод розпізнавання еталонного сигналу за наявності перешкоди, спектральна характеристика якої частково перекриває відповідну спектральну характеристику корисного сигналу на свідомо невідомих частотах. Залежність між еталонним і досліджуваним сигналами знаходиться за допомогою функцій непропорційності.

Ключові слова*: сигнал, еталон, спектр, спектральна характеристика, спектральна щільність, гармоніка, функції непропорційності.*

ВВЕДЕНИЕ

Оперативное распознавание эталонного сигнала при наличии аддитивной помехи с неизвестными частотными характеристиками является сложной задачей. Широко использующиеся корреляционные методы для решения этой задачи обычно требуют либо большого количества реализаций нестационарного процесса, либо значительного интервала времени наблюдения для стационарных и квазистационарных процессов. Поэтому разработка алгоритмов оперативного распознавания эталонных сигналов при наличии помехи с априорно неизвестной спектральной характеристикой является актуальной задачей.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Существует широкий класс систем распознавания сигналов при наличии аддитивной помехи, когда распознаванием сигналов занимается оператор по предъявляемой ему в текущий момент времени спектральной характеристике анализируемого сигнала. Ставится задача разработки метода распознавания полезного сигнала, который мог бы быть использован для расширения возможностей человеко-машинной системы распознавания образов.

В человеко-машинных системах во время обработки принятого сигнала часто возникает ситуация, когда на эталонный сигнал накладывается помеха с неизвестной спектральной характеристикой на некоторых заведомо неизвестных частотах. Наглядный пример такой ситуации изображен на рисунке 1. Очевидно, что в случае, когда полоса частот

полезного сигнала, не перекрытая помехой, узкая, то человеку будет трудно распознать эталонный фрагмент.

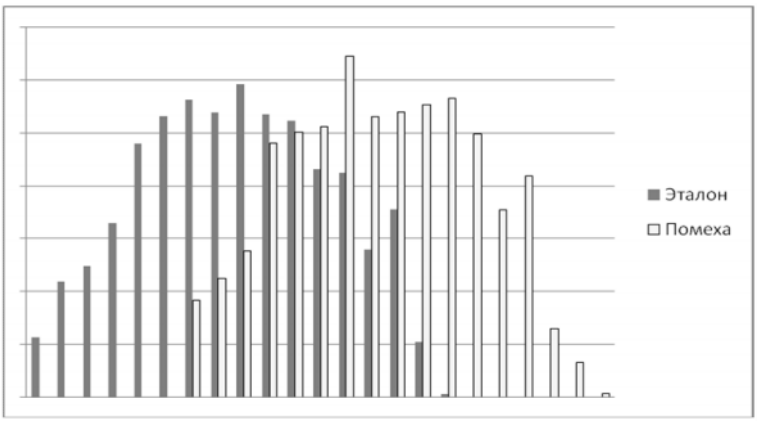

Рисунок 1 – Наложение помехи на полезный сигнал

Пусть дано множество спектральных характеристик эталонных периодических сигналов. Анализируемый сигнал представляет собой сумму одного заведомо неизвестного эталонного сигнала из заданного множества с неизвестным коэффициентом при нем и случайной помехи. Спектральная характеристика помехи неизвестна. Помеха может быть двух видов: неизвестный периодический сигнал с неизвестным спектром либо неизвестная случайная функция с неизвестной спектральной плотностью. В дальнейшем они сокращенно обозначаются как СХ. В качестве СХ в первом случае выступает амплитудно-частотная характеристика периодического сигнала, во втором спектральная плотность. Известно лишь то, что она частично пересекается со спектрами эталонных сигналов на заведомо неизвестных частотах. Необходимо разработать метод распознавания в анализируемом сигнале эталонного сигнала по текущим значениям СХ в текущий момент времени.

Таким образом, математическая постановка задачи имеет следующий вид.

Дано конечное множество эталонных функций, представляющих спектральные характеристики эталонных сигналов $s_i(\omega)$, ω - частота, $i=1, 2,..., n$. Каждая из функций по условию является периодической с периодом T_i, $i=1, 2,..., n$. Поэтому реально известны ординаты спектра для дискретных частот.

Спектральная характеристика анализируемого сигнала $y(t)$ имеет вид

$$y(\omega, t) = ks_i(\omega) + \eta(\omega, t), \qquad (1)$$

где $\eta(t)$ – СХ помехи, которая заведомо неизвестна; $t \in [0, T_i]$ - время, $i = 1, 2, \ldots, n$, k – масштабный множитель, значение которого неизвестно.

По условию текущая спектральная характеристика анализируемого сигнала известна.

По известному текущему значению СХ анализируемого сигнала необходимо осуществить оперативное распознавание фрагмента эталонного сигнала, входящего в анализируемый.

Пусть M – множество гармоник, на которых СХ помехи не накладывается на СХ эталонного сигнала. В общем случае, если эталонный сигнал входит в анализируемый (1), можно ожидать, что найдутся гармоники m, такие, что $m \in M$. Тогда полученные СХ будут

отличаться от характеристик эталонной функции на масштабный множитель c, значение которого неизвестно:

$$A_{im}(t) = c \cdot A_{эim}. \tag{2}$$

Здесь $A_{эim}$ - амплитуда i-го эталонного сигнала для гармоники m, A_{im} - соответствующая амплитуда анализируемого сигнала.

По условию частоты $m = 1, 2, \ldots, q$, для которых спектр помехи не накладывается на спектр i-й эталонной функции, неизвестны. Поэтому значение коэффициента c из уравнения (2) найти нельзя. Наличие помехи не позволяет определить этот коэффициент и с помощью нормирования спектра анализируемого сигнала $y(t)$ по спектру эталона, т. к. в общем случае только заведомо неизвестный фрагмент спектра эталона входит в спектр анализируемого сигнала.

Поэтому для обнаружения пропорциональной связи между амплитудами текущих спектральных разложений сигнала $y(t)$ и эталона $f_i(t)$ используется непропорциональность по производной 1-го порядка для функций, заданных параметрически [1,2]. Так, для некоторых функций $\psi(t)$ и $\varphi(t)$ эта непропорциональность описывается выражением

$$@\, d^{(1)}_{\varphi(t)}\psi(t) = \frac{\psi(t)}{\varphi(t)} - \frac{\psi'(t)}{\varphi'(t)}. \tag{3}$$

При $\psi(t) = c\varphi(t)$ она равняется нулю во всей области изменения t независимо от значения масштабного множителя c [2].

В текущий момент времени t вычисляется непропорциональность (3) для амплитуд спектров $y(t)$ и $f_i(t)$. Эти характеристики являются функциями частоты ω: $A_i(\omega, t)$ и $A_{эi}(\omega)$, то есть параметром в обоих случаях является частота. Соответственно непропорциональность для них имеет вид

$$@\, d^{(1)}_{A_{эi}(\omega)}A_i(\omega, t) = \frac{A_i(\omega, t)}{A_{эi}(\omega)} - \frac{dA_i/d\omega}{dA_{эi}/d\omega}. \tag{4}$$

В силу того, что при распознавании i-го эталона разложение в ряд Фурье происходит на текущем интервале длиной T_i, частота изменяется дискретно. Поэтому непропорциональность (4) при рассмотрении i-го эталона вычисляется для дискретных значений частоты $k\omega_i$, где k - номер гармоники, $k > 0$. При этом производные по частоте могут вычисляться одним из численных методов. Непропорциональность (4) становится равной нулю для тех частот, на которых связь между амплитудами спектральных разложений пропорциональна.

Вычисление производной по частоте [4] требует использования нескольких точек наблюдения, что не всегда приемлемо. Поэтому для большей оперативности предлагается применить интегральные непропорциональности [2]. Общий вид интегральной непропорциональности

$$@\, I^{(1)}_x y = \frac{y_{i-1} + y_i}{x_{i-1} + x_i} - \frac{y_i}{x_i}.$$

Для рассматриваемой задачи такая непропорциональность имеет вид

$$@\, I^{(1)}_{A_{эi}} A_i = \frac{A_i\left[(k-1)\omega_i, t\right] + A_i\left[k\omega_i, t\right]}{A_{эi}\left[(k-1)\omega_i\right] + A_{эi}\left[k\omega_i\right]} - \frac{A_i\left[k\omega_i, t\right]}{A_{эi}\left[k\omega_i\right]}. \qquad (5)$$

Непропорциональность (5) также равняется нулю для тех гармоник, для которых наблюдается пропорциональная связь между амплитудами спектральных разложений.

Пример

Пусть набор эталонных функций состоит из двух функций f_1 и f_2:

$$f_1(t) = \cos(t) - 0,5\cos(2t) + 1,2\sin(3t) + 2,2\cos(4t) + 2\cos(5t+1) +$$
$$+4,3\cos(6t) - 3\sin(7t) + 1,1\cos(8t) - 1,5\sin(9t),$$

$$f_2(t) = -1,6\sin(t) + \cos(2t) - 2,7\cos(3t) + 3\sin(4t) - 1,7\cos(5t) -$$
$$-0,3\sin(6t) + 0,8\cos(8t) + 1,6\cos(10t).$$

Помеха имеет вид:

$$\eta(t) = 1 + \cos(t) + 3,2\sin(2t-3) - 1,7\sin(3t+3) - \cos(8t-2) +$$
$$+2,8\cos(9t+4) - 2\cos(10t).$$

Выбор f_1 и f_2 был обусловлен необходимостью смоделировать такие эталонные сигналы, чтобы помеха частично пересекала оба эталона на некоторых частотах.

В анализируемом сигнале (1) представлен первый эталон с масштабным множителем k=3,12.

$$y(t) = 3,12 f_1(t) + \eta(t).$$

На рис. 2 представлены графики амплитудно-частотных характеристик первого и второго эталонов на фоне СХ анализируемого сигнала.

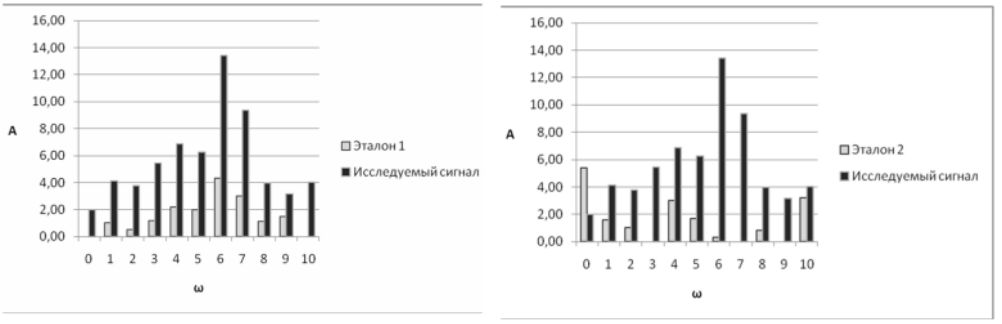

Рисунок 2 – Графики СХ для первого временного отсчета первого (вверху) и второго (внизу) эталонов на фоне исследуемого сигнала

Очевидно, что зависимость между СХ эталонов и СХ исследуемого сигнала визуально не просматривается.

Вычисляются значения непропорциональностей амплитуд анализируемого сигнала по первому и второму эталонам. Результаты приведены на рис. 3. Из него видно, что для первого эталона есть три значения непропорциональности, равных нулю. Это дает основание считать, что в исследуемый сигнал входит первый эталон. Для второго эталона нулевых значений не наблюдается.

Целесообразно сравнить предложенный метод распознавания эталонного сигнала с корреляционным методом. Для этого необходимо определить наличие или отсутствие корреляции между гармониками анализируемого и эталонного процессов. Так как количество рассматриваемых гармоник L=10, то при соответствующем количестве степеней свободы n=9 критическое (табличное) значение R=0.423 при уровне значимости p = 0,05 [3]. Для данного примера были получены следующие коэффициенты парной корреляции: между первым эталоном и исследуемым сигналом R_1=0.837; между вторым эталоном и исследуемым сигналом R_2=-0.447. Абсолютное значение обоих коэффициентов превышает критическое значение. Это означает, что существует корреляция между СХ исследуемого сигнала и обоими эталонами. И хотя коэффициент парной корреляции для второго эталона меньше, чем для первого, однако это не дает основания для того, чтобы утверждать, что именно первый эталон входит в анализируемый сигнал.

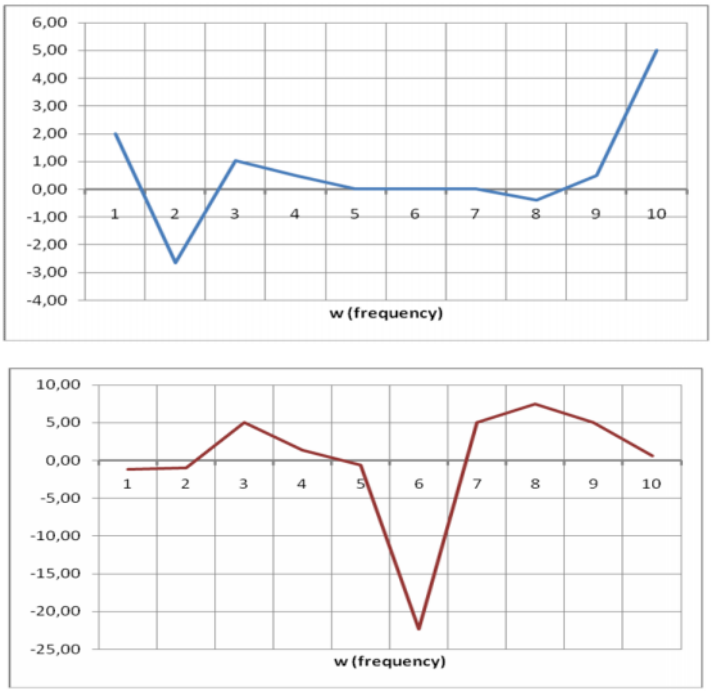

Рисунок 3 – Графики значений непропорциональностей исследуемого сигнала по первому (вверху) и второму (внизу) эталонам

В то же время непропорциональность спектральной характеристики анализируемого сигнала по спектру первого эталона равна нулю на гармониках 5, 6 и 7. С другой стороны, эта же непропорциональность по второму эталону для всех гармоник оказалась не равной нулю. Это дает основание считать, что именно первый эталон входит в исследуемый сигнал.

ВЫВОДЫ

Предложенный метод позволяет распознавать в анализируемом сигнале наличие фрагментов эталонных сигналов и может быть использован для предоставления информации системе поддержки принятия решений.

SUMMARY

SIGNAL RECOGNITION AT PARTIAL OVERLAPPING OF ITS SPECTRUM BY HINDRANCE

Avramenko V.V., Prohnenko Y.I.,
Sumy State University, Sumy

The algorithm of recognition of the reference signal which is partially overlapped by interference has been developed. The analysis of the results shows the efficiency of this method and possibility to apply it in practice.

Key words: *light, standard, spectrum, spectral response, spectral density, harmonic functions disproportion.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авраменко В. В. Характеристики непропорциональности числовых функций / В. В. Авраменко. - Деп. В ГНТБ Украины, 19.01.98 №59.
2. Карпенко А.П. Интегральные характеристики непропорциональности числовых функций и их применение в диагностике / А. П. Карпенко // Вісник Сумського держ. ун-ту. - 2000. – №16. - С.20-25.
3. Пустыльник Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е. И. Пустыльник. – М.: Наука, 1966.
4. Мелентьев П. В. Приближенные вычисления / П. В. Мелентьев. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962.

Поступила в редакцию 23 июня 2011 г.