УДК 681.518.5

ОПЕРАТИВНОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО СИГНАЛА ПРИ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБ АДДИТИВНОЙ ПОМЕХЕ

В. В. Авраменко, *канд. техн. наук, доцент;*
Ю. И. Прохненко, *ассистент,*
Сумский государственный университет,
E-mail: avr@sumdu.edu.ua
E-mail: prokhnenko.mail@yandex.ru

Предложен алгоритм распознавания эталонного периодического сигнала при наличии периодической аддитивной помехи с известной полосой частот, но неизвестной спектральной характеристикой. Полоса частот помехи может входить в полосу частот эталонов. Метод позволяет определить, какой из эталонных сигналов и с каким коэффициентом при нем входит в анализируемый сигнал, а также вычислить коэффициенты разложения помехи в ряд Фурье.

Ключевые слова*: сигнал, эталонный сигнал, оперативное распознавание, функции непропорциональностей, аддитивная помеха, разложение в ряд Фурье, спектр.*

ВВЕДЕНИЕ

При диагностике вращающихся и ударных механизмов, а также при распознавании переданного по каналу связи какого-либо из заданного множества эталонного сигнала анализируется сигнал, который может представлять собой сумму полезного сигнала и помехи. В общем случае они могут периодически повторяться, и их спектры могут складываться в заранее неизвестной полосе частот. Наложение частот усложняет распознавание полезного сигнала. Кроме того, он входит в анализируемый сигнал с заведомо неизвестным коэффициентом, что также усложняет задачу распознавания.

Как правило, время, отведенное для распознавания полезного сигнала, ограничено. В идеале оно должно осуществляться оперативно по данным, полученным в текущий момент времени.

Это обстоятельство ограничивает возможности применения корреляционных и других методов, требующих относительно длительных интервалов наблюдения.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Дано конечное множество функций $f_i(t)$ $(i = 1, 2, \ldots, m)$, представляющих эталонные сигналы, и помеха $\eta(t)$. Все они гладкие и имеют производные m -го порядка .

Анализируемый сигнал имеет вид

$$y(t) = k_i f_i(t) + \eta(t), \tag{1}$$

где $f_i(t)$ – i-я эталонная функция.

Коэффициент k_i при ней неизвестен. Помеха $\eta(t)$ удовлетворяет условиям, необходимым для ее разложения в ряд Фурье. Известна полоса частот, занимаемая помехой $\eta(t)$, однако спектр ее неизвестен.

Рассматривается случай, когда полосы частот полезного сигнала и помехи частично пересекаются. Частоты, для которых это имеет место, – неизвестны. Кроме того, помеха не имеет постоянной составляющей.

В этом случае $y(t)$ (1) имеет вид

$$y(t) = k_i f_i + \sum_{j=1}^{N} \left(a_j \cos \omega_j t + b_j \sin \omega_j t \right), \tag{2}$$

где $\omega = \frac{2\pi}{T}$; T – период помехи; $\omega_j = j \cdot \omega$; N – количество гармоник.

Необходимо по найденным в текущий момент времени значениям анализируемого сигнала $y(t)$ и его производных найти неизвестные коэффициенты k_i, a_i, b_j (j=1,2,...,N).

При их нахождении предлагается использовать алгоритм, разработанный в [1]. В его основе лежит использование функции непропорциональности по производной 1-го порядка для функций, заданных параметрически [2]. Например, для функций $y(t)$ и $x(t)$ она имеет вид

$$@d^1_{x(t)} y(t) = \frac{y(t)}{x(t)} - \frac{dy/dt}{dx/dt}. \tag{3}$$

Здесь @ – символ вычисления непропорциональности; d – от англ. derivative. Читается «эт d один $y(t)$ по $x(t)$».

Непропорциональность (3) равняется нулю в случае, если между $x(t)$ и $y(t)$ существует пропорциональная связь.

Работу алгоритма можно показать на простом примере, когда

$$f_0(t) = c_1 f_1(t) + c_2 f_2(t), \tag{4}$$

где $f_0(t)$ – анализируемый процесс; $f_1(t)$, $f_2(t)$ – эталонные функции.

По функции $f_0(t)$ и ее производным надо найти коэффициенты c_1 и c_2.

Для этого вычисляются непропорциональности (3) $F_{01}(t)$ и $F_{21}(t)$ соответственно $f_0(t)$ по $f_1(t)$ и $f_2(t)$ по $f_1(t)$.

$$F_{01}(t) = @d^{(1)}_{f_1(t)} f_0(t) = \frac{f_0(t)}{f_1(t)} - \frac{f_0'}{f_1'} = c_2 \left(\frac{f_2(t)}{f_1(t)} - \frac{f_2'}{f_1'} \right), \tag{5}$$

$$F_{21}(t) = @d^{(1)}_{f_1(t)} f_2(t) = \frac{f_2(t)}{f_1(t)} - \frac{f_2'}{f_1'} . \tag{6}$$

Подставив (6) в (5), получаем

$$F_{01}(t) = c_2 F_{21}(t) . \tag{7}$$

Очевидно, что между функциями $F_{01}(t)$ и $F_{21}(t)$ существует пропорциональная связь. В этом можно убедиться, если вычислить непропорциональность (3) $F_{0121}(t)$ функции $F_{01}(t)$ по $F_{21}(t)$.

$$F_{0121}(t) = @d^{(1)}_{F_{21}} F_{01} = \frac{F_{01}(t)}{F_{21}(t)} - \frac{F_{01}'}{F_{21}'} \quad . \tag{8}$$

Непропорциональность (8) становится равной нулю, если $f_0(t)$ действительно имеет вид (4). В случае, когда $F_{0121}(t) = 0$, вычисляются неизвестные коэффициенты c_1 и c_2:

$$c_2 = \frac{F_{01}(t)}{F_{21}(t)};$$

$$c_1 = \frac{f_0(t) - c_2 f_2(t)}{f_1(t)}.$$

Рассмотренный пример позволяет приступить непосредственно к решению задачи. Для удобства введем новые обозначения для коэффициентов в (2). В табл.1 приведены старые и новые обозначения.

Таблица 1 – Новые обозначения коэффициентов

Старые обозначения	k_1	a_1	b_1	a_2	b_2	...	a_n	b_N
Новые обозначения	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	...	k_{2N}	k_{2N+1}

Соответственно введем новые обозначения функций, входящих в (2).

Таблица 2 – Новые обозначения функций

Старые обозначения	$y(t)$	$f_i(t)$	$\cos\omega_1 t$	$\sin\omega_1 t$	$\cos\omega_2 t$	$\sin\omega_2 t$	...	$\cos\omega_N t$	$\sin\omega_N t$
Новые обозначения	$f_0(t)$	$f_1(t)$	$f_2(t)$	$f_3(t)$	$f_4(t)$	$f_5(t)$	...	$f_{2N}(t)$	$f_{2N+1}(t)$

В результате уравнение (2) принимает вид

$$f_0(t) = k_1 f_1(t) + k_2 f_2(t) + \ldots + k_{2N} f_{2N} + k_{2N+1} f_{2N+1} \,. \tag{9}$$

Далее в соответствии с алгоритмом осуществляется вычисление непропорциональностей (3) $F_{01}(t)$ функции $f_0(t)$ по $f_1(t)$, $F_{21}(t)$ функции $f_2(t)$ по $f_1(t)$ и т.д. Затем вычисляются $F_{0121}(t)$ функции $F_{01}(t)$ по $F_{21}(t)$, $F_{3121}(t)$ функции $F_{31}(t)$ по $F_{21}(t)$ и т.д.

Количество последовательных вычислений непропорциональностей равно числу слагаемых в (9), т.е. $2N+1$. В случае, если проверяемая эталонная функция $f_i(t)$, которая в (9) обозначена как $f_1(t)$, входит в анализируемый сигнал, последняя из вычисленных на $2N+1$ уровне непропорциональностей будет равняться нулю. Далее можно вычислить неизвестные коэффициенты. Если же она не равна нулю, следует в качестве $f_1(t)$ в (9) подставить следующую функцию из заданного множества эталонных функций.

При вычислении коэффициентов $k_1, k_2, \ldots, k_{2N+1}$ необходимо контролировать возможное появление условий, при которых возникают большие ошибки вычислений. В частности, это может быть при делении на числа, близкие к нулю.

ПРИМЕР

Рассмотрен пример, когда множество эталонов состоит из двух сигналов:

$$f_{ЭТ1}(t) = e^{0.1\cdot\omega_1 t}\sum_{i=1}^{M}\left(\sin\omega_i t + \cos\omega_i t\right);$$

$$f_{ЭТ2}(t) = e^{-\omega_1 t}\sum_{i=1}^{M}\left(\sin\omega_i t + \cos\omega_i t\right);$$

где $M = 4$, $\omega_1 = 1$.

Анализируемый сигнал имеет вид

$$y(t) = k_{ЭТ1}f_{ЭТ1} + \sum_{j=1}^{M}\left(a_j\cos\omega_j t + b_j\sin\omega_j t\right). \tag{10}$$

Таким образом, сложение спектров эталонного сигнала и помехи происходит на частотах М гармоник.

В соответствии с предложенным алгоритмом осуществляется последовательная проверка гипотезы вхождения первого или второго эталонов в $y(t)$ (10). Для $f_{ЭТ1}(t)$ непропорциональность (3) на 2М+1 уровне равняется нулю, что свидетельствует о вхождении этого эталонного сигнала в анализируемый. При этом в соответствии с [1] вычисляются неизвестные коэффициенты. Результаты вычислений приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Результаты вычислений

Коэффициенты	$k_{ЭТ}$	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9
Заданные значения	3,12	-1,5	2,08	-0,12	2,87	1,06	-2,15	3,44	0,92
Полученные значения	3,121	-1,502	2,08	-0,12	2,87	1,06	-2,15	3,44	0,92

Для $f_{ЭТ2}(t)$ непропорциональность (3) на 2М+1 уровне не равна нулю. Это означает, что второй эталонный сигнал в (10) отсутствует.

ВЫВОДЫ

Предложен метод оперативного распознавания эталонного сигнала при наличии аддитивной периодической помехи. Ее спектр частично накладывается на спектры эталонных сигналов. Метод позволяет по текущим значениям анализируемого сигнала и его производным определить, какой из эталонов и с каким коэффициентом входит в него. Кроме того, вычисляются коэффициенты разложения помехи в ряд Фурье.

ОПЕРАТИВНЕ РОЗПІЗНАВАННЯ ПЕРІОДИЧНОГО СИГНАЛУ ПРИ НЕПОВНІЙ ІНФОРМАЦІЇ ПРО АДИТИВНУ ПЕРЕШКОДУ

В. В. Авраменко, Ю. І. Прохненко,
Сумський державний університет, м. Суми

Запропоновано алгоритм оперативного розпізнавання еталонного сигналу за наявності адитивної періодичної перешкоди. Спектр перешкоди невідомий, відома лише її основна частота. Метод дозволяє визначити, який з еталонних сигналів і з яким коефіцієнтом наявній у сигналі, що аналізується, а також коефіцієнти перетворення перешкоди в ряд Фур'є.

Ключові слова: *сигнал, еталонний сигнал, оперативне розпізнавання, функції непропорційностей, адитивна перешкода, перетворення Фур'є, спектр.*

OPERATIVE RECOGNITION OF PERIODICAL SIGNAL WITH INCOMPLETE INFORMATION ABOUT THE ADDITIVE INTERFERENCE

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

The algorithm of the recognition of the reference signal overlapped with the additive periodical interference is suggested. Spectrum of the interference is unknown. Only the main frequency of interference is known. Method allows determining which of the references is present in the analyzed signal and calculating the scaling coefficient of the reference signal and the coefficients of the Fourier transform of interference.

Key words: *signal, reference signal, operative recognition, disproportion functions, additive interference, scaling coefficient, Fourier transform, spectrum.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авраменко В. В. Распознавание фрагментов заданных эталонов в анализируемом сигнале с помощью функций непропорциональности / В. В. Авраменко , А. П. Карпенко // Вісник Сумського державного університету. – 2002. – №1 (34). – 96 с.
2. Авраменко В. В. Характеристики непропорциональности числовых функций и их применение при решении задач диагностики / В. В. Авраменко // Вісник Сумського державного університету. – 2000. – №16. – С. 12-20.

Поступила в редакцию 8 октября 2012 г.