УДК 621.371:621.398

РАСПОЗНАВАНИЕ ЭТАЛОННЫХ СИГНАЛОВ ПРИ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ХАРАКТЕРИСТИКАХ ПОМЕХ

В.В. Авраменко, *доцент;*
Н.Ю. Слепушко, *аспирант*
Сумский государственный университет, г. Сумы

Разработан алгоритм распознавания эталонных сигналов при наличии аддитивной или мультипликативной помехи, инвариантный к масштабным множителям, с которыми эталонные функции входят в анализируемый сигнал. Кроме того, этот алгоритм может применяться в часто встречающихся на практике случаях, когда известным является лишь то, что аддитивная помеха может появляться и исчезать в случайные моменты времени, а мультипликативная - в случайные моменты времени имеет первую производную, равную нулю.
Ключевые слова: *алгоритм распознавания, аддитивная помеха, мультипликативная помеха.*

Розроблено алгоритм розпізнавання еталонних сигналів за наявності адитивної або мультиплікативної перешкоди, інваріантний до масштабних множників, з якими еталонні функції входять до аналізованого сигналу. Крім того, цей алгоритм може часто застосовуватися на практиці у тих випадках, коли відомим є лише те, що адитивна перешкода може з'являтися і зникати у випадкові моменти часу, а мультиплікативна - у випадкові моменти часу має першу похідну, що дорівнює нулеві.
Ключові слова: *алгоритм розпізнавання, адитивна перешкода, мультиплікативна перешкода.*

ВВЕДЕНИЕ

Распознавание полезного сигнала при наличии помех является актуальной задачей. Например, при передаче по каналу связи последовательности эталонных сигналов из заданного их множества, как правило, имеют место аддитивные или мультипликативные помехи. В таких условиях сложно определить, какой из эталонных сигналов в данный момент времени присутствует на выходе канала связи. Необходимость в решении подобной задачи часто возникает при диагностике технических и технологических объектов, в гидроакустике и при решении ряда других практических задач.

Обычно для распознавания эталонных сигналов при наличии аддитивной помехи требуется знание ее статистических характеристик, в частности спектральной плотности. Это позволяет осуществлять ее фильтрацию и таким образом улучшать условия для распознавания. Однако получение такой информации на практике не всегда возможно, особенно в условиях, когда характеристики помехи изменяются во времени. Еще больше задача распознавания усложняется, если помеха мультипликативная. Поэтому существует необходимость в разработке методов распознавания эталонных сигналов при неполной информации о помехах.

Как правило, полезный сигнал входит в анализируемый с неизвестным множителем. Поэтому требуется, чтобы метод распознавания был инвариантным по отношению к масштабным коэффициентам.

В данной работе рассматриваются две задачи распознавания в зависимости от того, является ли помеха аддитивной или мультипликативной.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Дано конечное множество числовых функций

$$f_i(t)\text{, где } t \in \left[0;T_i\right], i = 1,\ 2,\ \ldots\ n\text{,} \qquad (1)$$

описывающих эталонные (полезные) сигналы. Анализируемый сигнал в случае аддитивной помехи имеет вид

$$y(t) = kf_i(t + \tau_i) + \eta(t)\text{.} \qquad (2)$$

Для мультипликативной помехи

$$y(t) = kf_i(t + \tau_i)\eta(t)\text{.} \qquad (3)$$

Здесь k - неизвестный множитель; $\eta(t)$ - помеха; $\tau_i \in \left[0;T_i\right]$ – сдвиг во времени.

Эталонные функции (1) и помеха являются непрерывными и имеют первую производную.

Предполагается, что аддитивная помеха может появляться и исчезать в случайные моменты времени, что часто имеет место на практике. О мультипликативной помехе помимо указанных выше условий известно то, что в случайные моменты времени становится равной нулю ее первая производная. Ставится задача по известным в текущий момент времени t значениям $y(t)$ и её первой производной $y'(t)$ определить, какая из эталонных функций (1) входит в анализируемый сигнал.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для решения задачи предлагается использовать разработанную в [1,2] функцию непропорциональности по производной первого порядка для функций, заданных параметрически. Эта непропорциональность функции $\varphi(t)$ по $\psi(t)$ имеет вид

$$@d^{(1)}_{\psi(t)}\varphi(t) = \frac{\varphi(t)}{\psi(t)} - \frac{d\varphi/dt}{d\psi/dt}\text{.} \qquad (4)$$

Здесь @ - символ вычисления непропорциональности.

Символ d (от англ. derivative) означает, что непропорциональность по производной. В скобках указан порядок производной – 1. Читается «эт d один функции $\varphi(t)$ по $\psi(t)$». Важным свойством непропорциональности (4) является ее равенство нулю для случая, когда связь между функциями пропорциональная

$$\varphi(t) = k\psi(t)\text{,} \qquad (5)$$

независимо от значения k в (5).

Рассмотрим случай, когда анализируемый сигнал описывается выражением (2). Вычислим непропорциональность (4) $y(t)$ по эталонным функциям $f_j(t)$ ($j = 1,\ 2,\ \ldots\ n$):

$$Z_j(t) = @d^{(1)}_{f_j(t+\tau_j)} y(t) = \frac{kf_i + \eta}{f_j} - \frac{kf_i' + \eta'}{f_j'} = k\left[\frac{f_i}{f_j} - \frac{f_i'}{f_j'}\right] + \frac{\eta}{f_j} - \frac{\eta'}{f_j'} =$$
$$= k@d^{(1)}_{f_j(t+\tau_j)} f_i(t+\tau_i) + @d^{(1)}_{f_j(t+\tau_j)} \eta(t). \tag{6}$$

В случае, если $j = i$, первое слагаемое в (6) представляет собой непропорциональность (4) $f_i(t)$ по самой себе и, естественно, равняется нулю. В те случайные моменты времени, когда по условию помеха $\eta(t)$ исчезает, становится равным нулю и второе слагаемое в (6). Таким образом, для решения задачи необходимо вычислять непропорциональность (6) для каждой эталонной функции. В анализируемый сигнал входят те из них, для которых в случайные моменты времени непропорциональность (6) становится равной нулю.

Рассмотрим случай наличия мультипликативной помехи, когда анализируемый сигнал имеет вид (3). Вычислим непропорциональность (4) $y(t)$ (3) по эталонной функции $f_j(t)$ ($j = 1,\ 2,\ \ldots\ n$):

$$@d^{(1)}_{f_j(t+\tau_j)} y(t) = \frac{kf_i(t+\tau_i)\eta(t)}{f_j(t+\tau_j)} - k\frac{f_i'(t+\tau_i)\eta(t) + f_i(t+\tau_i)\eta'(t)}{f_j(t+\tau_j)}, \tag{7}$$

в случае $j = i$ (7) принимает вид

$$@d^{(1)}_{f_j(t+\tau_j)} y(t) = k\eta'(t)\frac{f_i(t+\tau_i)}{f_j'(t+\tau_j)}. \tag{8}$$

Когда по условию в случайные моменты времени производная $\eta'(t)$ становится равной нулю, непропорциональность (8) тоже становится нулевой. Следовательно, в анализируемый сигнал в момент времени t входит эталонный сигнал $f_i(t)$. Таким образом, при заданных условиях, как для аддитивной, так и для мультипликативной помехи распознавание осуществляется по следующему алгоритму.

1 Инициализировать множество числовых функций $f_j(t)$ $t \in [0;T_j]$ и вычислить их производные $f'_j(t)$, где $j = 1,\ 2,\ \ldots\ n$.

2 Задать начальное значение времени $t = t_0$.

3 Предположить, что анализируемый сигнал (2) помимо одной из эталонных функций включает аддитивную помеху, которая может появляться и исчезать в случайные моменты времени.

4 Перебирать значения j от 1 до n. Для каждого эталона f_j подбирать значение $\tau_j \in [0;\ T_j]$ и проверять условие

$$@d^{(1)}_{f_j(t+\tau_j)} y(t) = k@d^{(1)}_{f_j(t+\tau_j)} f_i(t+\tau_i) + @d^{(1)}_{f_j(t+\tau_j)} \eta(t) = 0. \tag{9}$$

Условие (9) будет выполняться при $j = i$ и соответственно $\tau_j = \tau_i$. Это означает, что в анализируемый сигнал $y(t)$ входит i-я эталонная функция со сдвигом времени τ_i. Вывести в качестве результата t, i, τ_i.

Иначе, если ни для одного из эталонов условие (9) не выполняется, перейти к пункту 5.

5 Предположить, что анализируемый сигнал (3) помимо одной из эталонных функций включает мультипликативную помеху, у которой в случайные моменты времени становится равной нулю ее первая производная.

6 Перебирать значения j от 1 до n. Для каждого эталона f_j подбирать значение $\tau_j \in \left[0; T_j\right]$ и проверять условие равенства нулю непропорциональности (7). Данное условие будет выполняться при $j = i$ и соответственно $\tau_j = \tau_i$. Это означает, что в анализируемый сигнал $y(t)$ входит i-я эталонная функция со сдвигом времени τ_i. Вывести в качестве результата t, i, τ_i.

Иначе, если ни для одного из эталонов непропорциональность (7) не равна нулю, распознавание в текущий момент времени t не состоялось. Вывести в качестве результата t. Перейти к следующему пункту.

7 Если необходимо продолжить анализ сигнала $y(t)$, то увеличить t на Δt и перейти к пункту 3. Иначе – останов.

Рассмотрим примеры использования предложенного алгоритма.

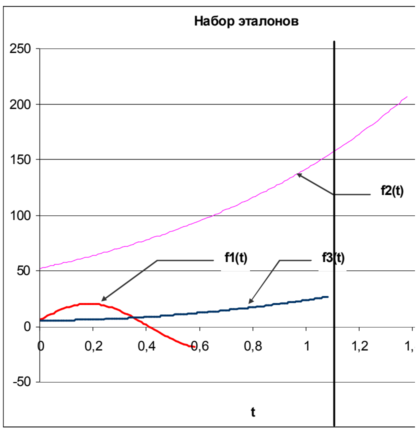
Пример 1. Пусть имеются три эталонных функции, описывающие эталонные сигналы:

$$f_1(t) = 20 \sin(7\ \mathrm{t}),\ \mathrm{t} \in [0;\ \ 0,7];$$

$$f_2(t) = 10\ \mathrm{t}^3,\ \mathrm{t} \in [0;\ \ 1,5];$$

$$f_3(t) = 17\ \mathrm{t}^2 + 5,\ \mathrm{t} \in [0;\ \ 1,2].$$

В разные моменты времени анализируемый сигнал состоит из какого-либо фрагмента одного из эталонных сигналов, взятого с произвольным множителем и аддитивной помехи, моделируемой с помощью функции генерации псевдослучайных чисел. На рис. 1 приведены графики эталонных функций и анализируемого сигнала для данного примера.



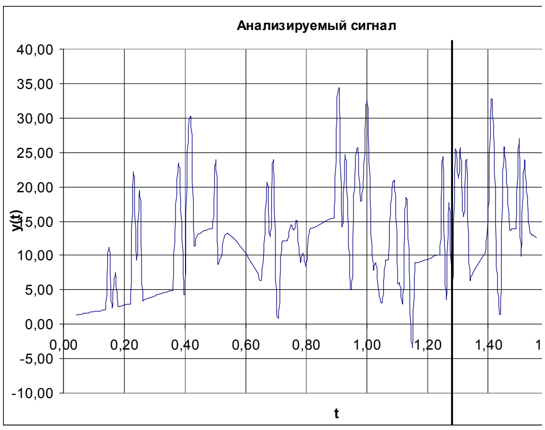


Рисунок 1 – Эталонные функции и анализируемый сигнал

В таблице 1 представлены результаты распознавания фрагментов эталонных функций. Из нее, например, видно, что на отрезках времени 0,04-0,06 с и 0,26-0,28 с в анализируемом сигнале присутствует эталонная функция $f_2(t)$ со сдвигом времени τ_2=0,54 с. На отрезке 0,54-0,57 с. присутствует $f_1(t)$ со сдвигом времени τ_1=0,27 с. и т.д.

Таблица 1 – Результаты распознавания для примера 1

t	$@d^{(1)}_{f_1(t)}y(t)$	$@d^{(1)}_{f_2(t)}y(t)$	$@d^{(1)}_{f_3(t)}y(t)$	τ_1	τ_2	τ_3
0,04	0,242	-2,220e-16	-5,604	-	0,54	-
0,05	0,254	0	-5,78	-	0,54	-
0,06	0,268	0	-5,959	-	0,54	-
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0,26	0,64	9,992e-16	-10,069	-	0,54	-
0,27	0,665	1,332e-15	-10,301	-	0,54	-
0,28	0,69	-4,441e-16	-10,534	-	0,54	-
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0,54	-4,44e-16	19215,516	42,939	-0,27	-	-
0,55	1,332e-15	18423,482	46,886	-0,27	-	-
0,56	-2,22e-16	17541,21	50,604	-0,27	-	-
0,57	-7,771e-16	16573,021	54,0734	-0,27	-	-
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
0,81	2,487	22482,651	9,992e-16	-	-	-0,12
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1,16	1,593	14489,817	1,443e-15	-	-	-0,49

Пример 2. Пусть имеет место мультипликативная помеха $\eta(t)$, которая представляет собой синусоиду со случайно изменяющейся во времени амплитудой. Анализируемый сигнал представляет собой произведение $\eta(t)$ на какой-либо фрагмент одной из эталонных функций (рис. 2).

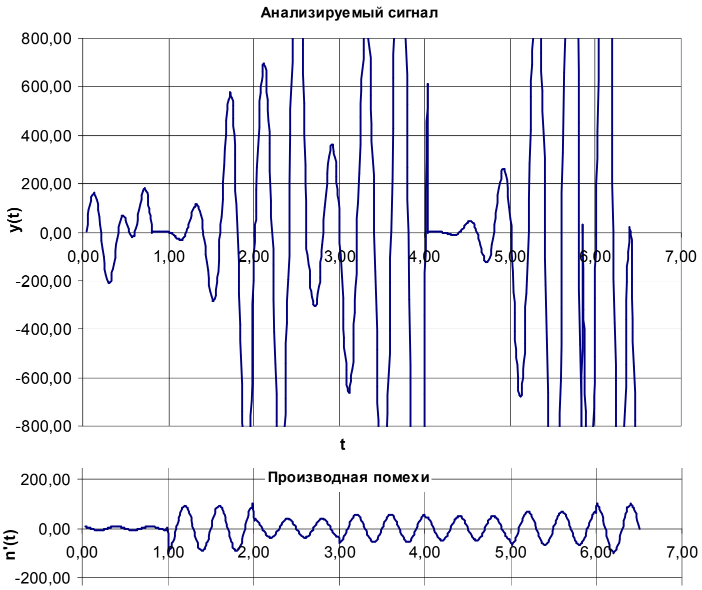


Рисунок 2 –Анализируемый сигнал и производная помехи

В моменты времени, когда $\eta'(t)=0$, непропорциональность (7) анализируемого сигнала по соответствующей эталонной функции практически равняется нулю, и в таких точках происходит распознавание, что видно из таблицы 2.

Таблица 2 – Результаты распознавания для примера 2

t	$@d^{(1)}_{f_1(t)}y(t)$	$@d^{(1)}_{f_2(t)}y(t)$	$@d^{(1)}_{f_3(t)}y(t)$
0,047	0,00002	523685,461	-5390,905
0,204	-0,00002	589788,048	-3686,357
0,361	0,00002	-896087,884	-1709,004
0,518	-0,00002	223842,724	5238,1
0,668	0,00006	692842,943	-3047,091
0,691	-0,0003	139,504	-12,843
0,966	0,00008	317,662	-13,596
0,99	-1,497	0,000052	27,354
1,147	3,058	-0,000056	-130,365
1,304	7,244	0,000057	-68,217
1,461	-20,114	-0,000058	126,633
1,618	42,959	2,982e-6	-201,958
1,775	-78,632	3,010e-6	293,546
1,932	158,267	-266023,0258	-3,051e-6
2,089	-243,360	551894,369	3,051e-6
2,246	354,493	-992110,698	-0,000052
2,403	-75,674	1379710,17	0,000052
2,56	87,537	-2102653,044	-0,0000523
2,717	-46,179	3042161,969	0,000052
2,875	61,413	-627193,751	-0,000052
3,032	-81,816	-0,00023	27,345
3,189	107,389	-0,000043	10,745
3,346	-138,132	0,000065	10,745
3,503	-0,00947	-0,000071	-44,679
3,66	-0,00043	0,000074	2211,997
3,817	0,0849	0,00006	-3052,792
3,974	0,147	-0,00006	4015,519
4,131	-0,69	0,00006	-5094,965
4,288	-0,00011	-133030,291	12753,619
4,445	0,000139	7430211,163	983,904
4,602	-0,00013	-3701957,611	-16674,827
4,76	0,00013	-4068903,991	14156,5213

ВЫВОДЫ

Разработан алгоритм распознавания эталонных сигналов при наличии аддитивной или мультипликативной помехи. Он инвариантный к масштабным множителям, с которыми эталонные функции входят в анализируемый сигнал. Кроме того, этот алгоритм может применяться в часто встречающихся на практике случаях, когда известным является лишь то, что аддитивная помеха может появляться и исчезать в случайные моменты времени, а мультипликативная - в случайные моменты времени имеет первую производную, равную нулю. Приведенные примеры свидетельствуют о работоспособности предложенного алгоритма.

SUMMARY

RECOGNITION OF REFERENCE SIGNALS AT THE INCOMPLETE INFORMATION ON CHARACTERISTICS OF HINDRANCES

V.V. Avramenko, N.J. Slepushko
Sumy State University, Sumy

The algorithm of recognition of standard signals in the presence of additive or multiplicative interference is developed invariant to scale factors. This algorithm can be applied in cases often meeting in practice when that additive interference can appear and disappear in casual instants is known only, and multiplicative - in casual instants has the first derivative equal to zero.

Key words: *algorithm of recognition, additive, multiplicative interference.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авраменко В.В. Характеристики непропорциональности числовых функций и их применение. Деп. В ГНТБ Украины 19.01.98, № 59 - Ук 98.
2. Авраменко В.В. Характеристики непропорциональности числовых функций и их применения при решении задач диагностики // Вісник СумДУ. - 2000. - № 16. – С.12-20.
3. Авраменко В.В. Оперативный контроль квазистационарных динамических объектов с помощью функций непропорциональностей/ В. В. Авраменко, Н. Ю. Слепушко // Вісник СумДУ. Серія Автоматика. - 2006. - № 10(94). – С.5-13.

Поступила в редакцию 14 мая 2009 г.