

МОДЕЛЬ ВИРТУАЛЬНОГО ФИЛЬТРА

Рассмотрены принцип действия и структура модели виртуального устройства, предназначенного для обнаружения, выделения и классификации периодических сигналов в смеси со случайным шумом в целях определения текущего состояния контролируемого участка протяженного объекта. В модели использован адаптивный алгоритм управления количеством циклов усреднения, что автоматически гарантирует получение заданной погрешности восстановления формы сигнала при малых значениях отношения сигнал—шум. Предложенный способ обнаружения и классификации сигнала на основе идентификационного тестера показывает устойчивые к шуму результаты как в режиме «Заданная погрешность», так и в режиме «Заданное число циклов накопления».

Ключевые слова: адаптивный алгоритм, шум, идентификационный тестер, периодический сигнал, фильтр, форма распределения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №17-08-01560).

Введение. При проведении различных физических исследований очень часто возникает проблема, связанная с обнаружением, выделением и классификацией периодических сигналов в смеси со случайным шумом. Для решения указанной проблемы в цифровой обработке сигналов используются различные варианты спектрального [1–3] и корреляционного [4–8] методов анализа. При выборе конкретной реализации того или иного метода обязательно учитывается априорная информация об отношении сигнал—шум (ОСШ) и уровне допустимой погрешности восстановления сигнала. Связь между этими показателями определяется общей закономерностью: чем меньше ОСШ, тем сложнее алгоритм получения малого (априорно заданного) значения погрешности.

В связи с этим возникает задача установления оптимального соотношения между ОСШ и погрешностью, при котором гарантировалась бы правильная идентификация формы периодического сигнала.

Примером применения предлагаемых авторами алгоритмов может служить система контроля параметров оболочки трубопровода, описанная в работе [9].

В данной системе акустические сигналы возбуждают следующие друг за другом воздействия на передающую среду через интервалы, превышающие интервал корреляции существующих в ней акустических шумов, отсчеты регистрируемых реакций на каждое воздействие на другом конце контролируемого участка суммируют с ранее полученными аналогичными отсчетами, модуль результирующего сигнала нормируют и принимают за плотность распределения временных интервалов отсчетов

от начала до конца сформированного в сумматоре сигнала. При каждом цикле приема и накопления воздействия по его распределению вычисляют оценки математического ожидания, среднеквадратичного отклонения, асимметрии и эксцесса и далее строятся их линии регрессии. Классификатор оценивает расстояния и углы между всеми попарными комбинациями линий регрессии с целью отнесения текущего воздействия к определенной форме.

На основе вычисленных параметров принимается решение об отнесении сигнала к определенной форме. Для этого необходимо иметь соответствующую базу данных эталонных значений параметров, что требует индивидуальной калибровки.

Первым недостатком данного способа — аналога является отсутствие классификатора, который бы позволял относить полученный накопленный сигнал к определенной форме распределения. Вторым недостатком является пересечение доверительных интервалов регистрируемых моментов распределений для сигналов различных форм, что не позволяет гарантировать принадлежность получаемого сигнала к одной конкретной форме (эталону).

Резюмируя свойства указанного прототипа, можно констатировать, что он использует косвенный метод измерения распределения, что ведет к усложнению структуры и алгоритмов обработки сигналов.

Целью предлагаемого способа является упрощение алгоритмов обработки и повышение их эффективности. При этом упрощение алгоритмов обработки достигается использованием прямого метода измерения формы распределений. Эффективность

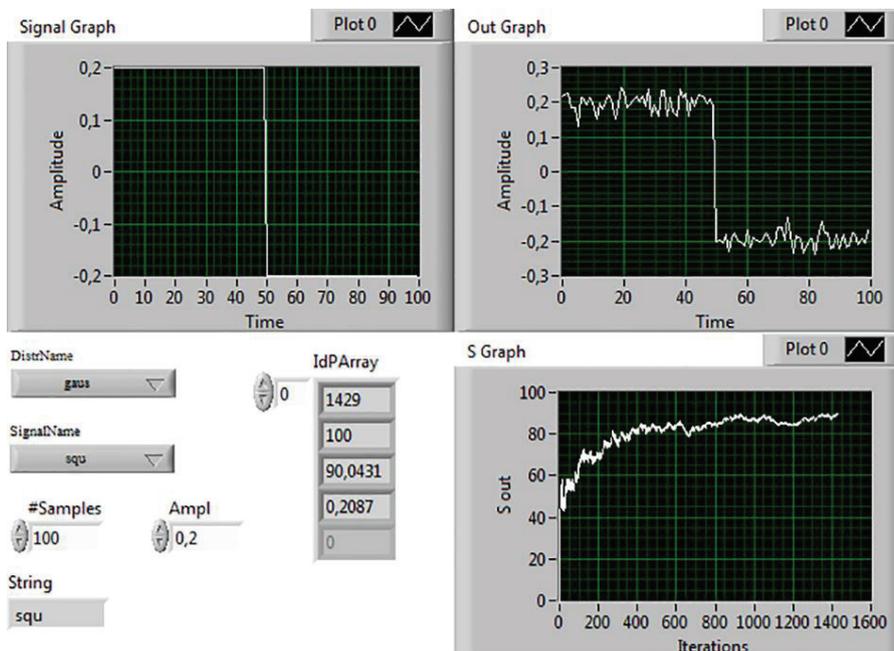


Рис. 1. Панель управления виртуального прибора

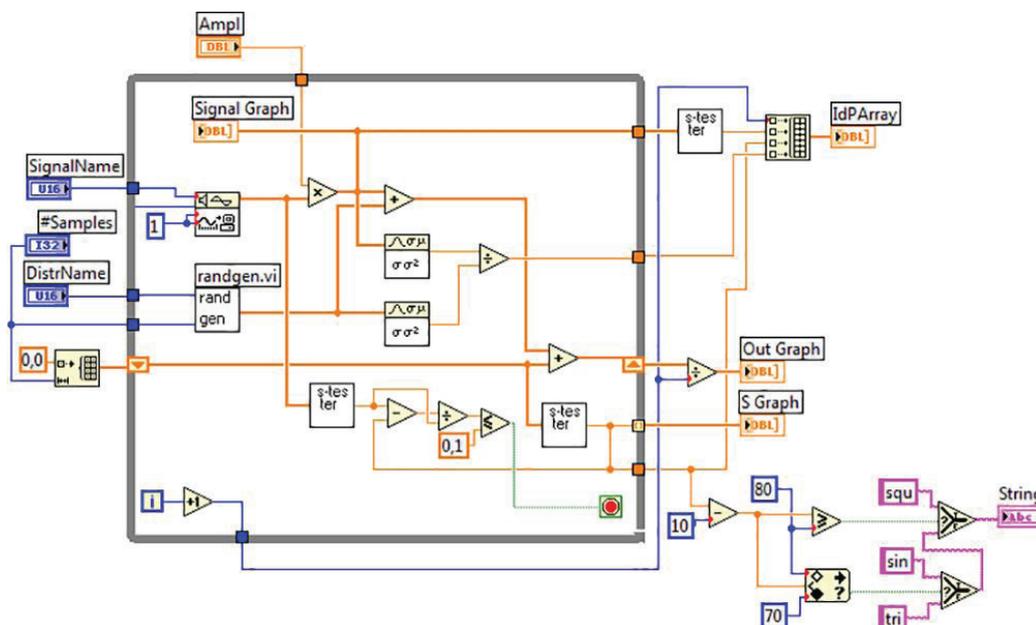


Рис. 2. Структура программного кода виртуального прибора

обработки сигналов удалось повысить за счет введения алгоритма контроля (управления) циклами накопления.

Описание модели. Для проверки правильности функционирования предлагаемых алгоритмов был разработан (в среде моделирования LabVIEW) виртуальный прибор (рис. 1, 2).

Панель управления (рис. 1) виртуального прибора состоит из трех дисплеев, которые отображают график зондирующего сигнала (Signal Graph), график выходного сигнала (Out Graph) и зависимость текущего значения идентификационного параметра (S) от номера итерации.

В качестве органов управления используются переключатель (DistrName) задания вида случайного сигнала (шума), переключатель (SignalName) задания формы зондирующего сигнала, задатчик (#Sample) числа отсчетов зондирующего сигнала,

здатчик (Ampl) уровня зондирующего сигнала. Для отображения значений измеряемых параметров используется окно IdP Array. Суждение, идентифицирующее форму выходного сигнала, отображается в окне String.

На рис. 1 представлен пример работы системы, когда:

- 1) зондирующий сигнал имеет прямоугольную форму (SignalName = squ);
- 2) задан белый шум с нормальным распределением (DistrName = gaus);
- 3) количество отсчетов зондирующего сигнала равно 100 (#Sample = 100);
- 4) отношение сигнал/шум составляет 1:5, т.е. действующее значение шума в 5 раз больше действующего значения зондирующего сигнала.

При этом были получены следующие оценки выходных параметров:

Статическая (идентификационная) характеристика S-тестера

IdP=S	Вид распределения случайного сигнала (реперные точки шкалы)								
	const	kosh	lapl	gaus	simp	trap	even	asin	2mod
Rank	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Mean (S)	0	1	15	32	51	63	75	92	100

1) число итераций режима накопления = 1420 (1-я строка окна IdP Array);

2) идеальное значение зондирующего импульса = 100 (2-я строка окна IdP Array);

3) пороговое значение параметра формы выходного сигнала (зондирующий импульс + остаточный шум) = 90, 0431 (3-я строка окна IdP Array);

4) реальное отношение сигнал/шум = 0,2087 (4-я строка окна IdP Array);

5) контрольное значение параметра формы зондирующего импульса = squ (окно String), совпадение которого со значением (SignalName = squ) зондирующего импульса указывает на правильность и достоверность работы системы.

На рис. 2 структуры программного кода системы показаны: основной, исполняемый модуль, модуль задающих параметров, модуль измеренных параметров и модуль принятия решений.

Исполняемый модуль выполнен в виде цикла типа For-Loop, внутри которого находятся: генератор зондирующего сигнала, генератор шума, сумматор сигналов, накопительный регистр, два идентификационных тестера S-типа [10], пороговое устройство и измеритель отношения сигнал/шум. Генератор зондирующего сигнала является многофункциональным и позволяет задавать 5 типов импульсных и периодических сигналов. Генератор шума позволяет задавать 14 типов (по распределению) случайных сигналов.

Модуль задающих параметров расположен слева от основного модуля и включает элементы управления моделью.

Модуль измеренных параметров расположен справа от основного модуля и включает идентификационный тестер S-типа, делительное устройство и устройство отображения выходных параметров IdP Array.

Идентификационный тестер S-типа — это виртуальный прибор, имеющий статическую характеристику (табл. 1), в которой на логическом уровне связаны измеренные значения параметра S (Mean (S)) и виды распределений случайных сигналов: двумодального (2mod), арксинусного (asin), равномерного (even), трапецеидального (trap), треугольного (simp), нормального (gaus), двустороннего экспоненциального (lapl) и Коши (kosh).

Начальный отсчет (const) имеет нулевое значение и относится к постоянным во времени сигналам. Имена распределений взяты из словаря имен случайных сигналов, принятых в области статистических измерений [11].

Модуль принятия решений расположен справа снизу от основного модуля, состоит из 2-х компараторов и 2-х переключателей, с помощью которых реализуется функция логического вывода (выходное суждение).

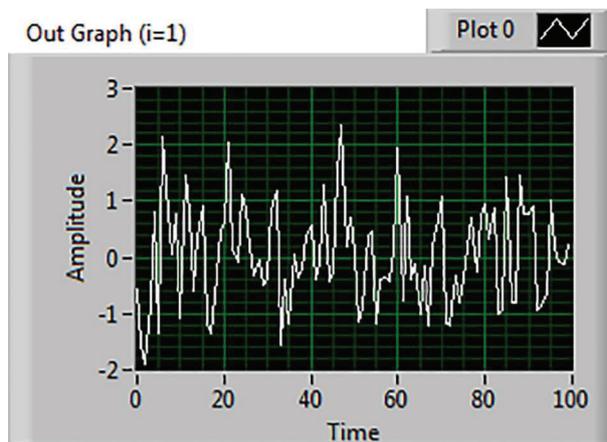


Рис. 3. Вид выходного сигнала при 1-й итерации накопления

Выходной сигнал системы после проведения всех итераций накопления выглядит так, как показано на рис. 1 (дисплей Out Graph). При этом выходное и заданное суждения о форме сигнала равны. Чтобы показать эффективность предлагаемого способа, на рис. 3 представлен первоначальный вид сигнала смеси с ОСШ = 0,2. Очевидно, что при таком уровне шума форма зондирующего периодического сигнала прямоугольной формы (squ) вообще не просматривается.

Следует отметить, что пороговое значение погрешности (в данном примере = 10 %) идентификации устанавливается в процессе настройки системы, исходя из типа и размеров повреждения (врезки) поверхности трубопровода.

Заключение. Программный код системы работает в режиме «Заданная погрешность», при котором выходной информацией служит количество циклов накопления. Однако программный код можно было легко адаптировать к режиму «Заданное число циклов накопления», при котором выходной информацией служит погрешность оценки формы зондирующего сигнала.

Согласно проведенным экспериментам, доверительные интервалы для каждой формы сигнала с ростом количества накоплений не пересекаются и позволяют однозначно определить форму сигнала, что дает возможность точной классификации принятого сигнала.

Выявлена общая закономерность, согласно которой при уменьшении отношения сигнал/шум среднее число итераций, необходимых для достоверной классификации, возрастает. Поскольку число итераций является случайной величиной, то при одних и тех же исходных данных и разных циклах

измерения могут получаться разные значения этих итераций.

Таким образом, предложенный способ обнаружения и классификации сигнала на основе идентификационного тестера показывает устойчивые к шуму результаты как в режиме «Заданная погрешность», так и в режиме «Заданное число циклов накопления», что повышает достоверность анализа по сравнению с известными аналогами.

Библиографический список

1. Макаров А. М., Ермаков А. С. Оптимальный согласованный фильтр для обнаружения сигнала на фоне шума с неизвестной корреляционной функцией // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 11 (172). С. 42–54.
2. Сидоркина Ю. А., Антипов В. В. Обнаружение сигнала с неизвестными временным положением и частотой // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 222 (12). С. 67–71.
3. Пат. 2490153 Российская Федерация, МПК В 61 К 9/08, В 61 L 1/06, В 61 L 23/04, G 01 N 29/04. Способ дистанционного обнаружения изменения состояния рельсового пути перед движущимся поездом / Епифанцев Б. Н., Ахмеджанов Р. А., Федотов А. А. № 2011151206/11; заявл. 14.12.11; опубл. 20.08.13, Бюл. № 11.
4. Епифанцев Б. Н., Комаров В. А. Об адаптации системы активного контроля к изменениям формы обнаруживаемых сигналов // Динамика систем, механизмов и машин. 2016. № 4. С. 256–261.
5. Пат. 2463590 Российская Федерация, МПК G 01 N 29/04. Способ обнаружения изменений параметров среды в окружении заглубленного магистрального продуктопровода / Епифанцев Б. Н., Федотов А. А. № 2011121858/28; заявл. 30.05.11; опубл. 10.10.12, Бюл. № 28.
6. Федотов А. А. Оценка эффективности активного виброакустического способа контроля состояния линейной части магистральных продуктопроводов // Современная наука: теоретический и практический взгляд: материалы III Международ. науч.-практ. конф. Таганрог: Перо, 2015. С. 82–85. ISBN 978-5-906847-84-3.
7. Федотов А. А. Автоматизированная система предотвращения террористической деятельности на магистральных трубопроводах // Россия молодая: передовые технологии — в промышленность! Материалы IV Всерос. молодежной науч.-техн. конф. с междунар. участием, 15–17 ноября 2011 г., Омск: Изд-во ОмГТУ, 2011. С. 128–131.
8. Пятков А. А., Федотов А. А. Программно-аппаратный комплекс предотвращения несанкционированной деятельности на магистральных продуктопроводах // Научные труды SWorld: сб. статей. 2011. Т. 2, № 4. С. 88–91.
9. Пат. 2626853 Российская Федерация, МПК G 01 N 29/04. Способ обнаружения и классификации изменений па-

раметров оболочки трубопровода и окружающей его среды / Нигрей Н. Н., Епифанцев Б. Н., Комаров В. А., Ишак Е. Р. № 2016135127; заявл. 29.08.16; опубл. 28.07.17, Бюл. № 22.

10. Кликушин Ю. Н. Классификационные шкалы для распределений вероятности // Журнал Радиозлектроники. 2000. № 11 (ноябрь).

11. Губарев В. В. Алгоритмы по статистическим измерениям. М.: Энергоатомиздат, 1985. 272 с.

КЛИКУШИН Юрий Николаевич, доктор технических наук, профессор (Россия), профессор кафедры «Электроника» Омского государственного технического университета.

SPIN-код: 5078-3089
AuthorID (РИНЦ): 3688

AuthorID (SCOPUS): 6507837080

Адрес для переписки: yurik211146@gmail.com

КОМАРОВ Владимир Александрович, аспирант кафедры «Информационная безопасность» Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС).

SPIN-код: 1601-7297

AuthorID (РИНЦ): 929026

AuthorID (SCOPUS): 57197211324

ORCID: 0000-0003-1933-0045

Адрес для переписки: reallkom@gmail.com

ФЕДОТОВ Александр Анатольевич, кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ОмГУПС.

SPIN-код: 2511-2353

AuthorID (РИНЦ): 686080

Адрес для переписки: fedotov1609@gmail.com

ШИЛЕР Александр Валерьевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), заведующий кафедрой «Информационная безопасность» ОмГУПС.

SPIN-код: 5995-6866

AuthorID (РИНЦ): 481272

AuthorID (SCOPUS): 56560148600

Адрес для переписки: shiler_alex@inbox.ru

Для цитирования

Кликушин Ю. Н., Комаров В. А., Федотов А. А., Шилер А. В. Модель виртуального фильтра // Омский научный вестник. 2018. № 5 (161). С. 139–142. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-161-139-142.

Статья поступила в редакцию 24.09.2018 г.

© Ю. Н. Кликушин, В. А. Комаров, А. А. Федотов, А. В. Шилер