



УДК 004.67

© В. Э. Иванов, А. В. Левенец, 2009

ПРОСТОЙ СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В ШУМОВОМ СИГНАЛЕ

Иванов В. Э. – канд. техн. наук, доц. кафедры «Автоматика и системотехника», тел.: 8-914-193-26-10, e-mail: ivanov72@list.ru; *Левенец А. В.* – канд. техн. наук, доц. кафедры «Автоматика и системотехника», тел.: 8-914-191-33-39, e-mail: levalvi@bk.ru (ТОГУ)

Предлагаемый способ предназначен для выявления отклонений статистических параметров шумового сигнала, источником которого является измерительный тракт. Данная информация может быть использована как дополнительный признак классификации и сжатия подобных сигналов. К достоинствам метода можно отнести быстрдействие и простоту реализации на аппаратно-программном уровне.

The present method is designed to find deviations of statistical parameters for the noise signal produced by the measuring track. This information can be used as an additional sign of classification and compression of such signals. The merit of the method is speed of response. It is also easy to realize at the soft and hardware level.

Ключевые слова: информационно-измерительные системы, сжатие, распознавание, гармоническая составляющая, шумовая составляющая.

В практике научных исследований часто возникает необходимость сбора и обработки данных в реальном масштабе времени. В настоящее время информационно-измерительные системы чаще всего строятся по схеме «датчик-модуль сбора-ПК». При этом модуль сбора данных оснащается предусилителем, а также, при необходимости, фильтром. На ПК возлагается задача регистрации данных в реальном масштабе времени и предварительная их обработка (отбраковка, адаптивная фильтрация, спектральный анализ, компрессия и т. д.).

В ряде случаев возникает задача непрерывной регистрации данных на носитель. Такой режим, в отличие от цифрового осциллографирования, не предусматривает пропусков данных, что может привести к необходимости серьезного повышения требуемой вычислительной мощности. В наиболее общем случае зарегистрированный сигнал представляет собой неинформа-

тивную шумовую составляющую измерительного тракта, а также полезные данные, появление которых во времени сложно прогнозировать. Задача регистрации полезной информации в таком случае представляет определённую сложность, так как в зависимости от предмета исследования требуется либо экспертная оценка для определения наличия полезной информации, либо некоторый алгоритм выделения полезной информации, например, по критерию соотношения сигнал/шум, спектральной оценке и т. д. Таким образом, реализуется простейшее необратимое сжатие информации, при котором шумовая составляющая отбрасывается, а сохраняются только информативные данные и моменты времени их появления.

Тем не менее, в ряде случаев шумовая составляющая может представлять определенный интерес. Так, в ряде практических случаев, например, при регистрации моноимпульсных сигналов, исходный сигнал можно представить как смесь полезного гармонического сигнала (периодичности) и, в общем случае, белого гауссовского шума. Следует отметить, что периодичность может быть и неинформативным параметром, например, паразитной наводкой, лежащей ниже порога обнаружения, что также может представлять интерес.

В том случае, если стоит задача регистрации только полезного сигнала, возникает необходимость обнаружения периодичности в шумовой составляющей при малых отношениях сигнал/шум для своевременного переключения аппаратно-программных средств на режим регистрации. Очевидно, что для рассматриваемого сигнала по изменению статистических характеристик (например, дисперсии) можно судить о степени превалирования гармонической составляющей над шумовой, но только в предположении о стационарном характере последней. Таким образом, основной задачей при сжатии и обработке шумовой составляющей является обнаружение отклонения статистических параметров шума от некоторого эталона. В этом случае эталоном можно считать параметры шумовой составляющей, характерные для данного типа аппаратуры и ее параметров – коэффициента усиления, АЧХ и т. д. Для решения поставленной задачи было предложено использовать алгоритм выделения скрытых периодичностей по пересечению нуля (ВСППН). Сущность алгоритма заключается в определении числа переходов сигнала через нуль (для цифровой выборки – пересечение некоторого среднего значения), после проведения над исходным сигналом операций повторного суммирования и повторной разности [1]:

$$x_{\text{вых}}(i) = \sum_{j=0}^n \binom{n}{j} (-1)^j x_{\text{вх}}(i-j) \text{ – повторная разность (ПР);}$$

$$x_{\text{вых}}(i) = \sum_{j=0}^n \binom{n}{j} x_{\text{вх}}(i-j) \text{ – повторное суммирование (ПС),}$$



где $x_{вх}$ и $x_{вых}$ – входной и выходной сигналы соответственно; n – порядок операции; $\binom{n}{i}$ – биномиальные коэффициенты.

При обработке сигнала методом ВСППН следует учитывать, что применение операции n -го порядка уменьшает размер выборки исходного сигнала на n отсчётов. Операции ПС или ПР n -го порядка могут быть реализованы как n последовательно выполненных соответствующих операций первого порядка. После выполнения над данными текущей операции подсчитывается число пересечений сигналом заданного уровня (ПСЗУ). Совокупность полученных значений даёт представление о спектре исходного сигнала, поэтому в работе [1] её предложено называть «квазиспектр». К достоинствам алгоритма ВСППН можно отнести исключительную простоту реализации, высокое быстродействие, возможность обработки данных в реальном времени (по мере поступления данных), а также невысокую требовательность к ресурсам.

Для исследования возможностей ВСППН для данной задачи была использована выборка сигнала, состоящего из суммы выборок гармонического сигнала и белого шума с нормальным распределением. Размер выборки составлял 2000 отсчетов, амплитуда гармонического сигнала подбиралась таким образом, чтобы обеспечить заданное соотношение сигнал/шум, относительная частота $\omega = 0,04$. При этом, для оценки уровня шума использовалась дисперсия. По нескольким реализациям выборки, а также при разных значениях соотношения сигнал/шум ($S_s / S_{ш}$) производился подсчёт числа ПСЗУ (N) и определялась зависимость числа N от степени операции повторного суммирования (повторной разности) n . Зависимости, полученные при использовании операций ПС приведены на рис. 1, а при использовании операций ПР – на рис. 2.

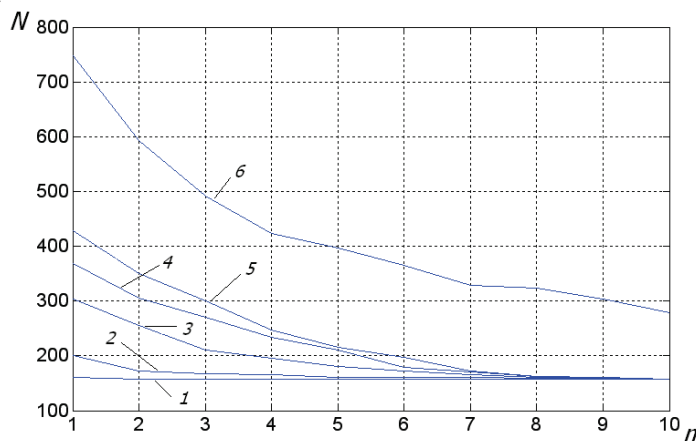


Рис. 1. Число пересечений нуля для сигнала с разным соотношением $S_s / S_{ш}$

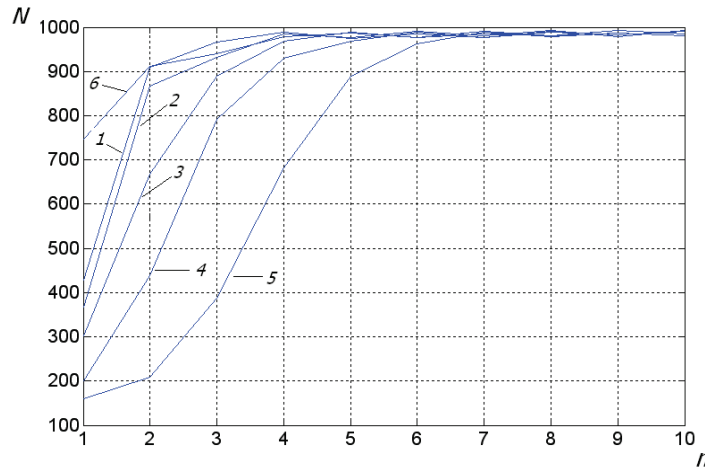


Рис. 2. Число пересечений нуля для сигнала с разным соотношением S_s/S_u для повторных разностей

На рисунках кривая 6 соответствует белому гауссовскому шуму, остальные – для сигналов с соотношением: $S_s/S_u=5$ (кривая 1), $S_s/S_u=4$ (кривая 2), $S_s/S_u=3$ (кривая 3), $S_s/S_u=2$ (кривая 4), $S_s/S_u=1$ (кривая 5). Из приведённых на рисунках данных следует, что для всех порядков операций ПС, чисто шумовой сигнал существенно отличается по числу ПСЗУ от других исследованных сигналов. В случае же использования операций ПР наблюдается существенная разница чисел N для всех сигналов при условии, что число ПСЗУ подсчитывается по исходной выборке. Приведенные результаты показывают, что, по крайней мере, для рассмотренного случая ($\omega = 0,04$, $S_s/S_u = 1 \div 5$) применяемый метод позволяет проводить устойчивое различие шумового сигнала и сигналов с гармонической составляющей.

Для более полной оценки возможностей метода ВСППН для задач различения сигналов было проведено исследование влияния частоты гармонического сигнала на степень различия чисел ПСЗУ для разных соотношений S_s/S_u . Для этого случая были использованы реальные шумы измерительного тракта диагностической аппаратуры, состоящей из датчика, предусилителя с усилением около 90 дБ и модуля регистрации с частотой дискретизации 3 Мвыб/с [2]. В наиболее сложных случаях (при высоком коэффициенте усиления) дисперсия шумового сигнала составляла около 10–20 % динамического диапазона регистратора. Шумы измерительного тракта при заведомом отсутствии наводок и гармонических составляющих были приняты за эталон с известной дисперсией. На данный эталон производилось наложение гармонического сигнала с заданной относительной частотой и амплитудой, обеспечивающей заданное соотношение сигнал/шум.

На рис. 3 показаны зависимости числа ПСЗУ от степени операции ПС



для нескольких реализаций реальных шумов измерительного тракта (кривые 5) и реальных шумовых сигналов с гармонической составляющей с частотой (кривые 1–4). Для более детального исследования число N подсчитывалось для нескольких реализаций реальных шумовых сигналов. Заметно, что кривые, соответствующие шумам измерительного тракта, сгруппированы.

На рис. 4–7 приведены аналогичные результаты для различных относительных частот гармонической составляющей.

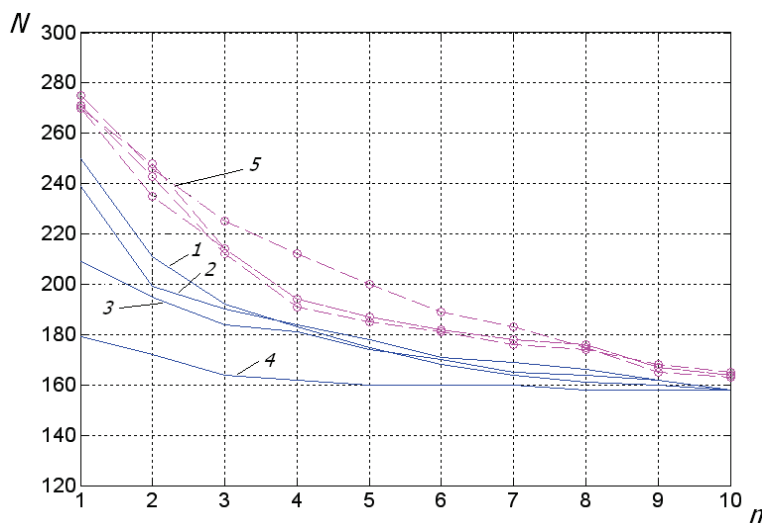


Рис. 3. Число пересечений нуля для $\omega = 0,04$; кривые 5 – реальные шумы; 4 – $S_S/S_{ш} = 2$; 3 – $S_S/S_{ш} = 1$; 2 – $S_S/S_{ш} = 0,7$; 1 – $S_S/S_{ш} = 0,5$.

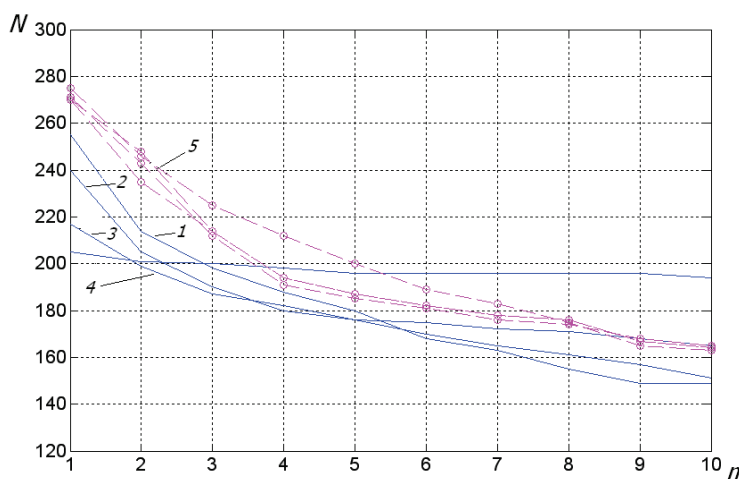


Рис. 4. Число пересечений нуля для $\omega = 0,05$, кривая 5 – реальные шумы; 4 – $S_S/S_{ш} = 2$; 3 – $S_S/S_{ш} = 1$; 2 – $S_S/S_{ш} = 0,7$; 1 – $S_S/S_{ш} = 0,5$.

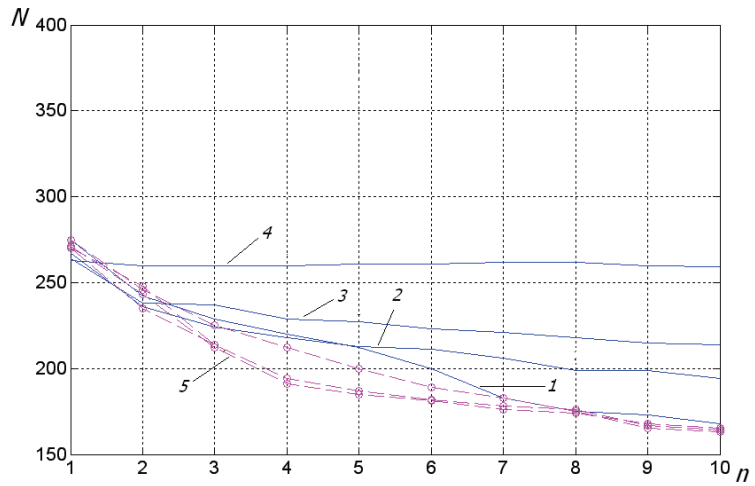


Рис. 5. Число пересечений нуля для $\omega = 0,07$; кривые 5 – реальные шумы; 4 – $S_S/S_{ш} = 2$; 3 – $S_S/S_{ш} = 1$; 2 – $S_S/S_{ш} = 0,7$; 1 – $S_S/S_{ш} = 0,5$

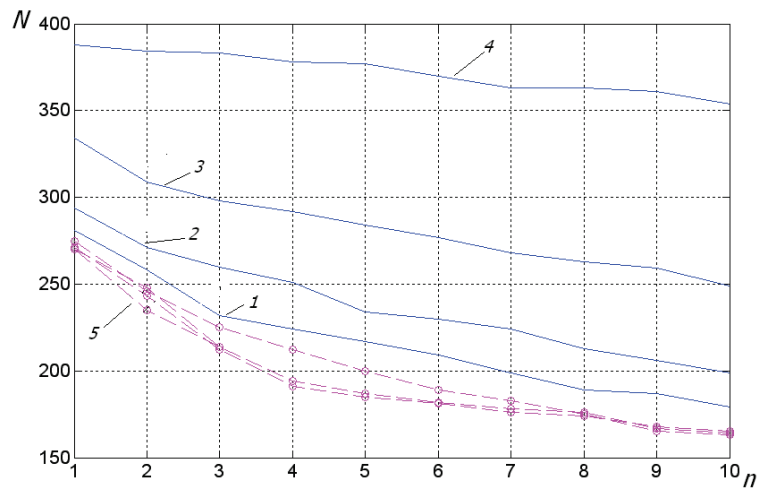


Рис. 6. Число пересечений нуля для $\omega = 0,1$; кривые 5 – реальные шумы; 4 – $S_S/S_{ш} = 2$; 3 – $S_S/S_{ш} = 1$; 2 – $S_S/S_{ш} = 0,7$; 1 – $S_S/S_{ш} = 0,5$

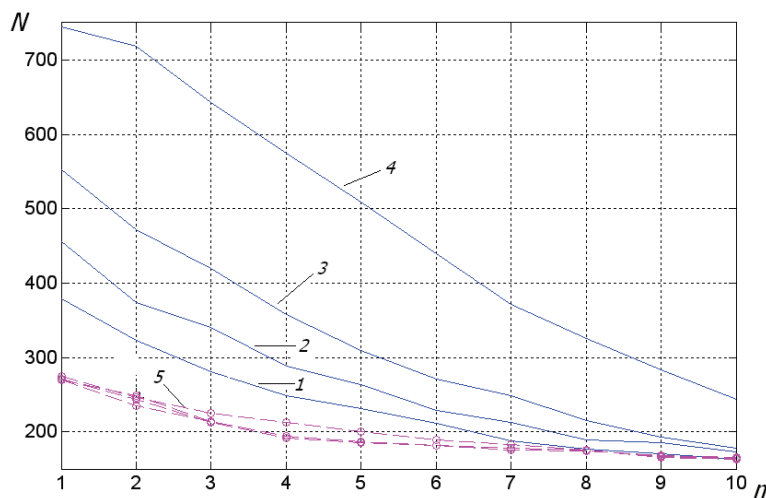


Рис. 7. Число пересечений нуля для $\omega = 0,25$; кривые 5 – реальные шумы; 4 – $S_s/S_u = 2$; 3 – $S_s/S_u = 1$; 2 – $S_s/S_u = 0,7$; 1 – $S_s/S_u = 0,5$.

Таким образом, проведённые исследования позволяют сделать следующие выводы:

- 1) с ростом относительной частоты число ПСЗН для исходных выборок увеличивается и стремится к числу ПСЗН для шумовых составляющих;
- 2) различные реализации шумовых составляющих имеют практически одинаковые зависимости;
- 3) абсолютное значение числа ПСЗН для сигналов с гармонической составляющей зависит как от частоты сигнала, так и от соотношения сигнал/шум.

Очевидно, что невозможно производить четкое различие между сигналами с шумовой и гармонической составляющей только по критерию величины числа ПСЗН для исходных выборок, так как в частном случае эти числа могут совпадать при определенной частоте сигнала, как показано на рис. 5. Однако при увеличении степени операции ПС практически в каждом случае можно провести четкое различие. Это объясняется тем, что операция ПС является реализацией простейшего низкочастотного фильтра. Таким образом, внесение частотных искажений вносит изменения и в соответствующую составляющую квазиспектра, изменяя при этом число ПСЗН. Так, из рис. 5 следует, что устойчивое различие наблюдается уже при порядке 4–5 операции ПС.

На основании полученных результатов можно предложить следующий алгоритм обнаружения гармонических составляющих в шумовом сигнале:

- 1) для нескольких реализаций шума измерительного тракта производится расчет числа ПСЗН для 4–5 степени операции ПС; данные нескольких реализаций усредняются, находятся граничные значения и разброс значений;



2) вычисляются значения чисел ПСЗН для размера выборки, соответствующего размеру эталонной выборки шума, а также для последующих 4–5 порядков ПС;

3) используя заранее заданный порог для каждого уровня, необходимо производить сравнение соответствующих чисел ПСЗН для эталона и выборки, после чего формировать двоичный вектор результатов сравнения;

4) выполняя оценку результатов сравнения по заданной стратегии, определяемой практикой исследований, делать вывод о наличии либо отсутствии гармонической составляющей.

В перспективе данный алгоритм может быть реализован на базе однокристалльных контроллеров средних семейств, так как основными операциями при обработке являются операции суммирования и сравнения. Вычисления сумм можно производить по накопительному принципу, используя минимум аппаратных ресурсов для хранения промежуточных данных. Используя эталонные значения N для шумовых сигналов, можно также производить косвенную оценку исправности измерительного тракта.

Библиографические ссылки

1. Левенец А. В., Чернявский Е. А., Чье Ен Ун. Оценки спектра сигнала методом выделения скрытых периодичностей по пересечениям нуля // Измерительная техника. 1996. № 9.

2. Иванов В. Э., Цинь Хуну. Перспективы использования вейвлет-преобразования для задач классификации моноимпульсных сигналов // Информационные и управляющие системы: сб. тр. / под ред. В. В. Воронина. Хабаровск, 2008.