

ПРИМЕНЕНИЕ ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В ЗАШУМЛЕННОМ СИГНАЛЕ

Ле Ван Туан

Томский политехнический университет, г. Томск
Научный руководитель: Казьмин В.П., к.т.н., доцент
visaosang89@gmail.com

Обработка сигналов имеет долгую и богатую историю. Её применяют во многих областях, в том числе и в развлечении, коммуникации, космических исследованиях, медицине и археологии. Быстрое развитие цифровых компьютеров и микропроцессоров вместе с важными теоретическими достижениями типа быстрого преобразования Фурье привело к существенному изменению в цифровых технологиях – возникновению направления ЦОС (цифровая обработка сигналов). Основным при обработке сигналов является анализ, представление и преобразование сигналов и информации, которую они несут [1].

В настоящее время для повышения надежности и безопасности машин и механизмов, а также снижения затрат на их эксплуатацию, широкое распространение получают системы мониторинга состояния и диагностики. Диагностика предназначена для проведения технического обслуживания или ремонта по фактическому техническому состоянию на основе углубленного контроля с использованием данных мониторинга [2]. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что одним из важнейших средств повышения качества, надежности и экономической эффективности использования механического оборудования является применение систем виброакустического диагностирования, устранение и разборка оборудования [3]. Ориентация на методы виброакустической диагностики, базирующейся на принципах без разборности, оперативности и универсальности, позволяет успешно решать поставленные задачи благодаря огромной информационной емкости виброакустических процессов, сопровождающих функционирование машин и механизмов, использованию новых методов обработки измерительной информации, применению микроэлектронной вычислительной техники.

Всегда бывает необходимо определить степень независимости одного процесса от другого или установить сходство одного набора данных с другим. Этот искомый процесс называется корреляцией процессов, которая занимает значительное место в обработке сигналов [4]. Существует две формы корреляции: автокорреляция и взаимная корреляция. В этой статье рассматривается автокорреляционная функция (АКФ) и её применение.

АКФ имеет форму [5]:

$$B_s(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t)s(t-\tau)dt$$

где, $s(t)$ - исходный сигнал, $s(t-\tau)$ - его смещенной во времени копии.

Предполагаем пример вычисления АКФ гармонического сигнала с частотой ω :
 $s(t) = A\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$

Вычисляем корреляционный интеграл, учитывая, что период такого сигнала равен $2\pi / \omega_0$:

$$B_s(\tau) = \frac{\omega_0}{2\pi} \int_{-\pi/\omega_0}^{\pi/\omega_0} A\cos(\omega_0 t + \varphi_0)A\cos(\omega_0(t-\tau) + \varphi_0)dt = \frac{A^2}{2} \cos(\omega_0 \tau)$$

Видно, что полученный АКФ имеет одинаковый период с сигналом и не зависит от начальной фазы гармонического сигнала (параметр φ_0 не вошел в полученное выражение). Это важное свойство АКФ при применении АКФ для выявления периодических составляющих в зашумленном сигнале.

Рассмотрим эксперимент, использующий классическую АКФ для определения частоты вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания.

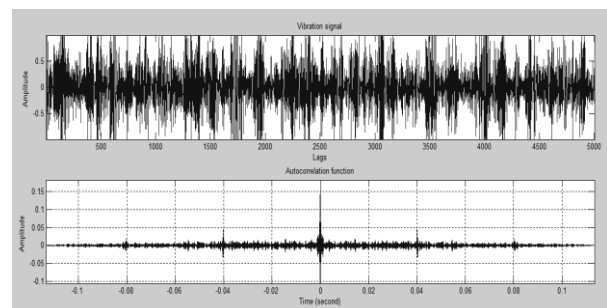


Рис. 1. Автокорреляционная функция

Сигналы вибрации исследуемого двигателя были получены с использованием вибропреобразователя ДН-3, с частотой дискретизации 44100 Гц. С помощью штатного тахометра автомобиля была выставлена частота вращения коленчатого вала 3000 (об/мин). На рисунке 1 можно вычислить значение периода вращения коленчатого вала равно $60 \cdot 2 / 0.04 = 3000$ (об/мин). Полученный результат совпадает с показанием тахометра.

Возникает проблема, что не известно о значении частоты периодических составляющих в шуме. Следовательно, необходимо придумать новый метод, который имеет возможность определить

частоту каждого периодического составляющего и его соотношение амплитуды. Эта задача рассматривается в [6].

На практике часто используется следующее выражение АКФ с использованием преобразования Фурье:

$$B(\tau) = F^{-1} [F(x_i)F^*(x_i)],$$

где F – прямое дискретное преобразование Фурье сигнала x_i , F^* – комплексно-сопряженное значение результатов прямого дискретного преобразования, F^{-1} – обратное дискретное преобразование Фурье.

Согласно [6] перед вычислением произведения $F(x_i)F^*(x_i)$ предварительно формируют m его копий M^k , $k = 0, \dots, m-1$, обнуляя весь спектр, кроме k -этой части. Результатом обратного преобразования Фурье каждой из этих копий является автокорреляционная функция на соответствующих участках. Таким образом определяется так называемая частотно-временная автокорреляционная функция. Формульная запись имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} B(f_k, t_i) &= Z_i^k, \\ Z^k &= F^{-1} [M^k], \\ M_j^k &= \begin{cases} P_j, & \frac{k}{m} \leq \frac{j}{2^{n-1}+1} < \frac{k+1}{m}, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases} \\ P_j &= F(x_i)F^*(x_i), \end{aligned}$$

где x_i – дискретные отсчёты анализируемого сигнала, $i = 0, 1, \dots, 2^n - 1$, $j = 0, 1, \dots, 2^{n-1} + 1$, $k = 0, 1, \dots, m-1$, $m = 1, 2, \dots, 2^{n-1}$, $n = 2, 3, \dots$

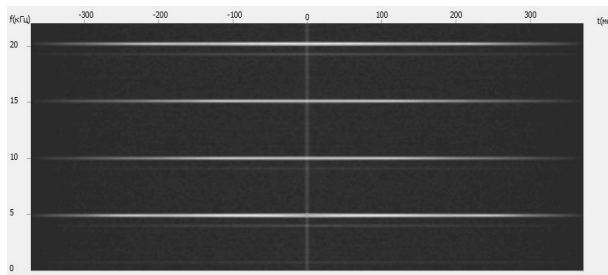


Рис. 2. Частотно-временная автокорреляционная функция

Далее рассмотрен пример определения гармонических составляющих в зашумленном сигнале. Гармоники, присутствующие в полезном сигнале – 5, 10, 15, 20 кГц имеют 100-ую амплитуду. Вид частотно-временной автокорреляционной функции представлен на рисунке 2.

Присутствующие гармоники с ярким цветом в шуме видно наблюдать на картине 2.

Теперь рассмотрено применение частотно-временной АКФ для анализа высшего сигнала вибрации двигателя внутреннего сгорания. Результат показан на рис 3.

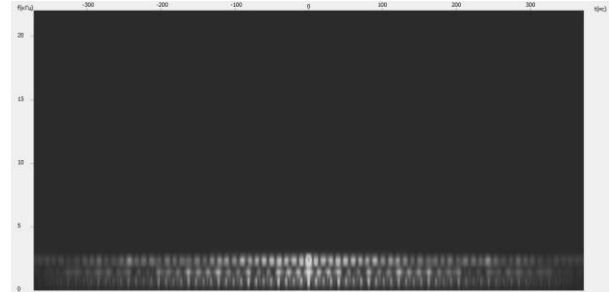


Рис. 3. Частотно-временная автокорреляционная функция сигнала вибрации

На рис. 3 легко определить гармонические составляющие в шуме и их период.

Вывод

В статье показано применение традиционной АКФ для определения периода гармоники и представление частотно-временной АКФ для выявления периодических составляющих в зашумленном сигнале. Полученный результат имеет большое значение при решении задачи обработки сигналов, именно при диагностике машин и механизмов.

Литература

1. А. Оппенгейм, Р. Шафер Цифровая обработка сигналов. – Москва: Техносфера, 2006. – 856 с.
2. Розенберг Г.Ш., Мадорский Е.З., Голуб Е.С., Викин М.Л., Неелов А.Н., Порошенков Ю.В., Таджикибаев А.И. Вибродиагностика. – СПб.: ПЭИПК, 2003. – 284 с.
3. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М: Машиностроение, 1987. – 288 с.
4. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. 2-е изд.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 992 с.
5. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
6. Аврамчук В.С. Определение наличия гармонических составляющих и их частот в дискретных сигналах на основе автокорреляционной функции // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 5. – С. 113–116.