

ОПТИЧЕСКИЙ ВЕЙВЛЕТ-КОНТРОЛЬ РАЗМАХА ГАРМОНИЧЕСКОЙ ВИБРАЦИИ

Е. А. Зрюмов, С. П. Пронин

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова
г. Барнаул

В настоящее время широкое применение в науке и технике нашли вейвлет-преобразования, которые используются при сжатии сигналов и изображений, их квантовании и кодировании, при цифровой обработке и передаче звуковой и видеоинформации. Многие свойства вейвлет-преобразования имеют прямые аналогии в измерительной технике, особенно при построении оптических приборов и методов измерения и контроля, поэтому на сегодняшний день назрела проблема построения теории оптического методов вейвлет-контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

К основным свойствам вейвлет-преобразования, которые могут быть использованы в измерительной технике, можно отнести следующие:

1. одновременный анализ временных и частотных свойств сигнала, что приводит к разложениям по элементарным базисам, сконцентрированным по времени и частоте;

2. масштабированные волновые образования, измеряющие изменения сигнала, при котором различный масштаб объектов эффективно характеризуют особенности его структуры;

3. неограниченное количество базисов, которые позволяют оптимально исследовать оптическое изображение для различных измерительных задач с целью выделения сигнала из шума.

Одним из самых простых примеров, иллюстрирующих присутствие идей вейвлет-преобразований в измерительной технике, является методика построения шкал измерительных приборов.

Практически всегда на шкале нанесены основные деления, которые позволяют при крупном масштабе оценить порядок измеряемой величины, дополнительные деления на шкале позволяют уточнить полученное значение, причем таких дополнительных шкал может быть несколько. На рисунке 1 приведено изображение шкалы лупы измерительной 10^x , которая имеет две дополнительных шкалы для измерения длин в диапазоне до 28 мм с шагом 0,1 мм.

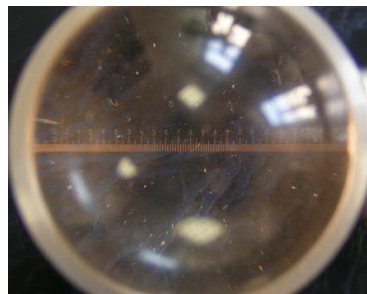


Рисунок 1 – Внешний вид лупы измерительной

Также можно отметить применение в контрольно-измерительной технике технологии уточнения измерений. Например, в приборе 2720 ER для измерения сопротивлений имеется механизм изменения масштаба измерений – переключатель «Грубо - точно». Это позволяет использовать разные схемы измерения сопротивления: для грубой оценки – двухпроводная схема (низкий класс точности), для уточнения результата – трехпроводная схема (высокий класс точности). На рисунке 2 приведен внешний вид такого прибора.



Рисунок 2 – Внешний вид прибора для измерения сопротивлений 2720 ER

Отдельный класс приложения вейвлет-преобразований в измерительной технике является построение тест-объектов. Например, для контроля качества опико-электронных систем используются тест-объекты, представленные на рисунке 3.

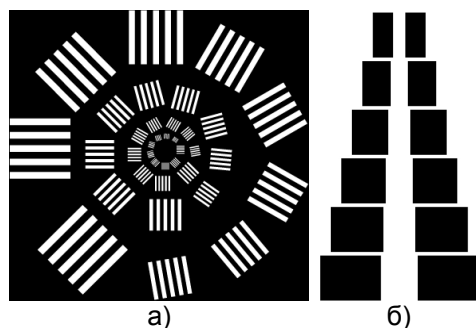


Рисунок 3 – Тест-объекты для контроля качества оптико-электронных систем

Как видно из рисунка 3, все тест-объекты имеют фрактальную структуру и наделены всеми тремя выделенными свойствами вейвлет-преобразования.

Во-первых, каждый тест-объект строится по своему базису, который позволяет в данном конкретном случае получить наиболее точный результат измерения.

Во-вторых, изображение тест-объекта, полученного с помощью оптико-электронной системы, можно исследовать одновременно как в пространственной области, так и в частотной.

В-третьих, при уменьшенном масштабе обработки изображения тест-объекта можно судить о свойствах исследуемого объекта в целом, при увеличенном масштабе – о свойствах отдельных его элементов.

Наиболее близкая связь между фрактальными изображениями и изображением тест-объекта можно проследить на примере триадного канторовского множества (рисунок 4). Простое построение, предложенное Кантором, позволяет получать фрактальные множества с фрактальной размерностью в интервале от нуля до единицы. При этом заправкой служит единичный штрих, а образующий элемент делит его на три равные части и отбрасывает открытую среднюю часть, оставляя ее концевые точки. Затем образующий элемент применяется к каждому из двух оставшихся штрихов и т. д. Такая процедура приводит к появлению очень коротких отрезков.

Нетрудно заметить, что триадное канторовское множество представляет собой тест-объект с коэффициентом заполнения 0,5 и повышающейся пространственной частотой. Канторово множество, в котором присутствует только одна пара штрихов определенной пространственной частоты, представляет собой пирамидальную миру (рисунок 3, б).

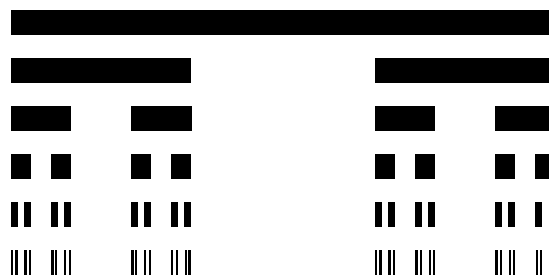


Рисунок 4 – Изображение триадного канторовского множества

Чрезвычайно интересным, с точки зрения получения измерительного признака, является изучение фрактальной размерности тест-объекта.

Фрактальная размерность Хаусдорфа-Безиковича D множества J есть критическая размерность, при которой мера M_d изменяет свое значение с нуля на бесконечность:

$$M_d = \sum \gamma(d) \cdot \delta^d = \gamma(d) \cdot N(\delta) \delta^d \xrightarrow{\delta \rightarrow 0} \begin{cases} 0, d > D \\ \infty, d < D \end{cases} \quad (1)$$

где δ – шаг, $\gamma(\delta)$ – геометрический коэффициент, $N(\delta)$ – количество шагов.

Значение M_d называется d -мерой множества. Значение M_d при $d = D$ часто конечно, но может быть равно нулю или бесконечности, в данном случае существенно, при каком именно значении d величина M_d изменяется скачком.

Следовательно, из формулы (1) можно сделать важный метрологический вывод: переход значения d через фрактальную размерность D позволяет переходить от линейных измерений к нелинейным, причем максимальная чувствительность будет наблюдаться при $d = D$. Значит, получение фрактальной размерности тест-объекта позволит производить высокочувствительные измерения.

Однако само по себе фрактальное разрешение не может являться измерительным признаком, так как оно является свойством тест-объекта, а реакция измерительной системы на тест-объект с известной фрактальной размерностью, т.е. особенности изображения отдельных элементов, может служить измерительным критерием.

Рассмотрим процесс оптического измерения размаха гармонической вибрации.

Экспериментальная установка состоит из звукового генератора синусоидальных колебаний, динамика, на диффузоре которого закреплен тест-объект, видеокамеры и персонального компьютера. С помощью генератора можно формировать электрические сигналы в диапазоне частот от 20 Гц до 20 кГц с амплитудой напряжения от нуля до 1 В. Частота дискретизации составляет 48 кГц, разрядность цифро-аналогового преобразователя равна 16 бит. Генератор через усилитель приводит в движение диффузор динамика 25ГДН-1-8-80. К диффузору динамика жестко прикреплен тест-объект. Видеокамера установлена от тест-объекта на расстоянии 0,3 м и состоит из объектива Индустар-61л/3-МС и линейного датчика SONY ILX751A с электронным блоком ввода данных в персональный компьютер.

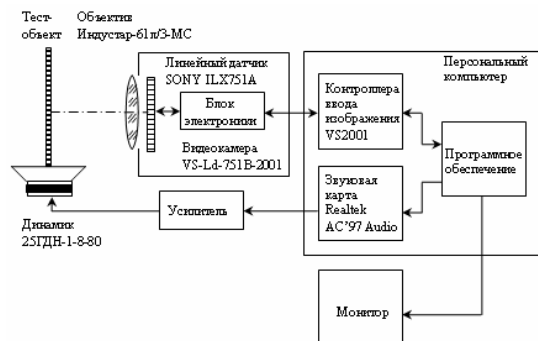


Рисунок 5 – Экспериментальная установка

Линейный датчик видеокамеры расположен параллельно направлению линейной вибрации поверхности тест-объекта. Штрихи тест-объекта располагают перпендикулярно направлению линейной вибрации.

Тест-объект представляет собой десять параллельных парных черных штрихов, нанесенных на белую бумагу. Данный тест-объект по принципу работы схож с пирамидальной мишенью, однако для фиксации изображения всех пар штрихов одновременно на линейном датчике видеокамеры необходимо разместить их последовательно друг за другом. Ширина штрихов и размер светлого промежутка между ними равны, поэтому коэффициент заполнения каждой пары составляет 0,5 [1]. Высота всех штрихов равна 40 мм.

Размеры штрихов a составляют: 0,91; 0,83; 0,75; 0,66; 0,58; 0,50; 0,42; 0,33; 0,25; 0,17 мм с погрешностью $\pm 0,01$ мм и соответствующие им пространственные частоты ν : 0,54; 0,60; 0,67; 0,75; 0,86; 1,00; 1,20; 1,50; 1,99; 2,99 мм⁻¹.



Рисунок 6 – Тест-объект в виде набора парных штрихов

В данном случае кадровая частота линейного датчика равна частоте гармонической вибрации, при этом наблюдается стробоскопический эффект, когда изображения вибрирующего тест-объекта не изменяется во времени.

Для контроля размаха гармонической вибрации при измеренной частоте рассмотрим процесс вибрации не относительно линейного датчика видеокамеры, а относительно тест-объекта, т.е. видеокамера вибрирует относительно тест-объекта.

В этом случае вейвлет-функцией выступает зависимость изменения яркости тест-объекта, причем исследование сигнала по этому базису осуществляется не во времени, а в пространстве. Причем в определенной области линейного датчика в зависимости от расположения парных штрихов происходит обработка сигнала вейвлет-функцией различного масштаба в зависимости от пространственной частоты штрихов. Измерительным критерием в данном случае будет фиксация нулевого контраста в изображении представленных пар штрихов, при этом размер штриха будет равен размаху вибрации. То есть в данном случае происходит вейвлет-анализ закона вибрации объекта функцией распределения яркости тест-объекта для различных пространственных частот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малла С. Вэйвлеты в обработке сигналов / С. Малла. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
2. Федер Е. Фракталы / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
3. Пронин С.П. Оценка качества информационно-измерительной оптико-электронной системы. – Барнаул: Издательство АлтГТУ, 2001. – 125 с.
4. Августинович К.А. Основы фотографической метрологии. М.: Легпромбытиздат, 1990. – 288с.
5. Пронин, С. П. Программно-аппаратный комплекс для измерения размаха и частоты гармонических вибраций / С. П. Пронин, Е. А. Зрюмов, А. В. Юденков, П. А. Зрюмов // Приборы и техника эксперимента – М.: Изд-во МАИК Наука. – 2010. – №2. – С. 151-152.
6. Патент 2395792 Российская Федерация. Способ измерения параметров вибрации объекта / С. П. Пронин, Е. А. Зрюмов, А. В. Юденков. – Заявка №2009125845 ; опубл. 27.07.2010 ; Бюл. №6. – 5 с.