

УДК 677.03

**МАСШТАБНЫЙ АНАЛИЗ НЕРОВНОТЫ
ОДНОМЕРНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ ПРОДУКТОВ***П.А. СЕВОСТЬЯНОВ, В.О. СИМОНЯН***(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина, "ЦНИХБИ")**

При контроле качества одномерных продуктов прядения (ленты, ровницы, пряжи) важными являются показатели неровноты по линейной плотности, компонентному составу, распрямленности и ориентированности волокон, содержанию сорных примесей и т.п.

Для оценки и анализа неровноты продукта используют информацию, содержащуюся в результатах измерений образцов продукта конечной длины.

С распространением цифровой техники измерения обычно представляют собой последовательность чисел, отображающих значения, например, линейной плотности продукта по его длине через равные интервалы длины. Эти последовательности чисел и подвергают обработке и анализу.

Принято выделять несколько типов неровноты: монотонную, периодическую, случайную и локальную [1], [2]. Анализ случайной и периодической составляющих неровноты выполняется средствами гармонического спектрального, корреляционного и градиентного анализа.

За последние полвека методология, техника и прикладное программное обеспечение этих видов анализа применительно к неровноте одномерных волокнистых продуктов были детально разработаны с использованием общих достижений в области цифровой обработки сигналов и цифрового спектрального анализа [3].

Обнаружение монотонной функциональной составляющей, например, дрейфа среднего уровня линейной плотности продукта, выполняется методами регрессионного анализа. Следует, однако, заметить,

что его результаты не всегда оказываются достаточно надежными, поскольку успешность регрессионного анализа существенно зависит от выполнения предпосылок, для которых этот анализ применим [4]. Для обнаружения локальной неровноты применяют различные методы фильтрации, например, скользящего усреднения.

Масштабный анализ является альтернативным средством выделения различных составляющих неровноты, до сих пор не применяющимся для исследования волокнистых материалов. В этом виде анализа исходный поток данных, описывающих неравномерность продукта, например, по линейной плотности, подвергается вейвлет-преобразованию [5].

Базовые (масштабирующие) функции $\Phi(t,k)$ позволяют выделить основные тенденции неровноты на участках продукта разной длины (разного масштаба). Детализирующие функции (вейвлеты) $\Psi(t,k)$ описывают «тонкую структуру» неровноты.

Заметим, что градиенты внешней и внутренней неровноты [1], специфические характеристики, используемые при исследовании неровноты текстильных продуктов, являются средствами своего рода масштабного анализа, но основанного на квадратических вариациях. Они были изобретены прядильщиками и отражают их практическую потребность в таком анализе.

Успешность масштабного анализа зависит от удачного выбора класса вейвлетов (к настоящему времени их предлагается несколько десятков), их параметров и порядка разложения. Сам процесс анализа

полностью автоматизирован, например, в математической программной системе Matlab [5].

Для того, чтобы наглядно представить возможности масштабного анализа, было

$$\begin{aligned}
 x(t) &\sim N(m=10; \sigma=1); & g(t) &\sim N(m(t); \sigma=1), & m(t) &= 10 + 0,002t; & t &= 0, \dots, 1000, \\
 q(t) &= \{x(0) \dots x(450); x_1(1) \dots x_1(100); x(551) \dots x(1000)\}, & x_1(t) &\sim N(m=12; \sigma=1), \\
 p(t) &= \{x(0) \dots x(450); x_2(1) \dots x_2(100); x(551) \dots x(1000)\}, & x_2(t) &\sim N(m=10; \sigma=2), \\
 r(t+1) &= x(t) + 0,5r(t-1), & r(0) &= 0, & t &= 1, \dots, 1000; & c(t) &= x(t) + \cos(2\pi t / 64),
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где символом $N(m, \sigma)$ обозначено нормальное распределение с параметрами m и σ .

Из способа генерации видно, что выборка $x(t)$ представляет собой модель нормального стационарного белого шума. Выборка $g(t)$ отличается от $x(t)$ наличием линейно нарастающего среднего (дрейф среднего).

Выборка $q(t)$ отличается от $x(t)$ локальным участком со средним, на 20% больше, чем у остальной выборки.

подготовлено шесть выборок $x(t)$, $g(t)$, $q(t)$, $p(t)$, $r(t)$, $c(t)$ равной длины. Они были сгенерированы с помощью генератора случайных чисел следующим образом

Выборка $p(t)$ в отличие от предыдущей на том же локальном участке отличается значением дисперсии $\sigma^2 = 4$ при постоянном среднем.

Выборка $r(t)$ является реализацией стационарного случайного процесса с экспоненциальной корреляционной функцией.

Выборка $c(t)$ является суммой гармонического колебания с периодом в 64 отсчета и реализации $x(t)$.

Реализации шести выборок приведены на рис. 1.

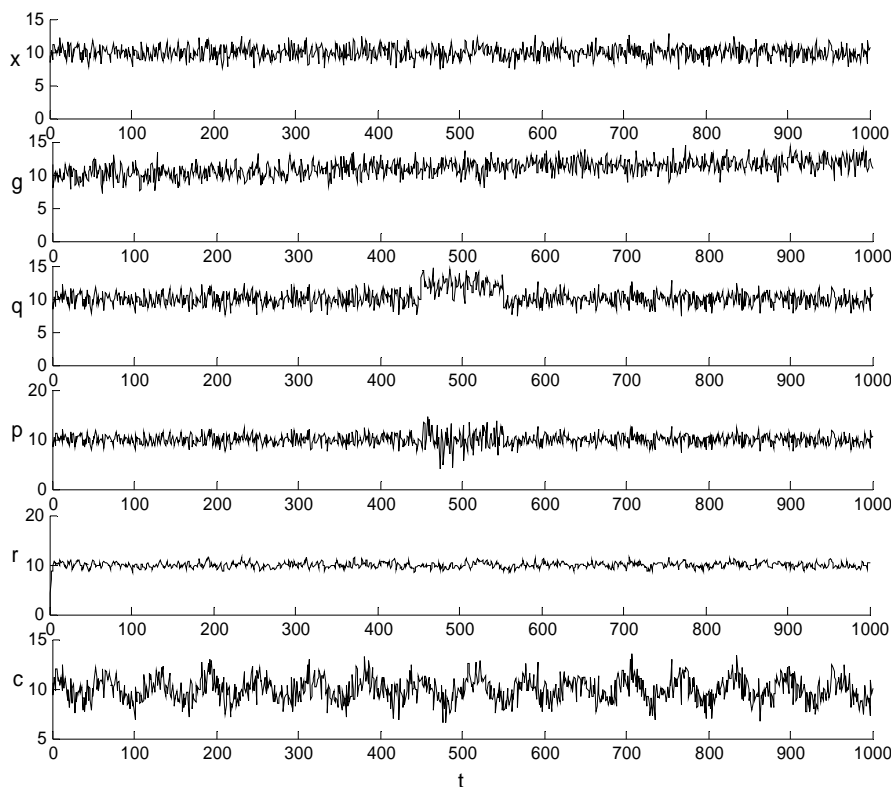


Рис. 1

Все выборки подвергались масштабному анализу по одинаковой методике с детализацией по M уровням. При этом вы-

числялись коэффициенты $A(t, M)$ и $B(t, k)$, $k = 1, \dots, M$ при функциях $\Phi(t, M)$ и $\Psi(t, k)$. Затем выполнялось восстановление исход-

ной выборки по разным уровням детализации.

Таким образом, любая выборка $y(t)$ представлялась суммой базовой $a(M)$ и детализирующих составляющих $d(k)$:

$$y(t) = a(M) + d(1) + d(2) + \dots + d(M). \quad (2)$$

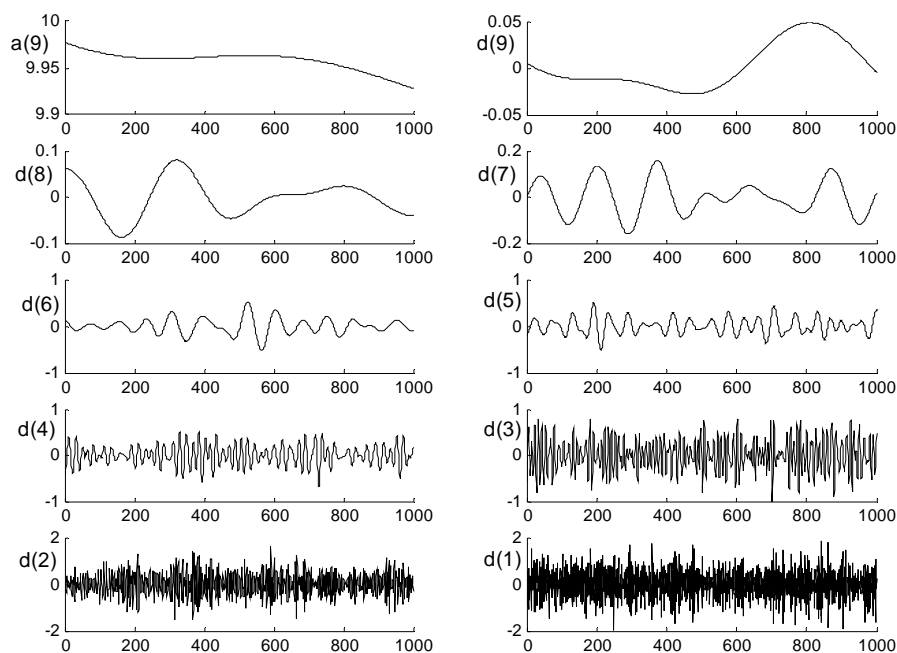


Рис. 2

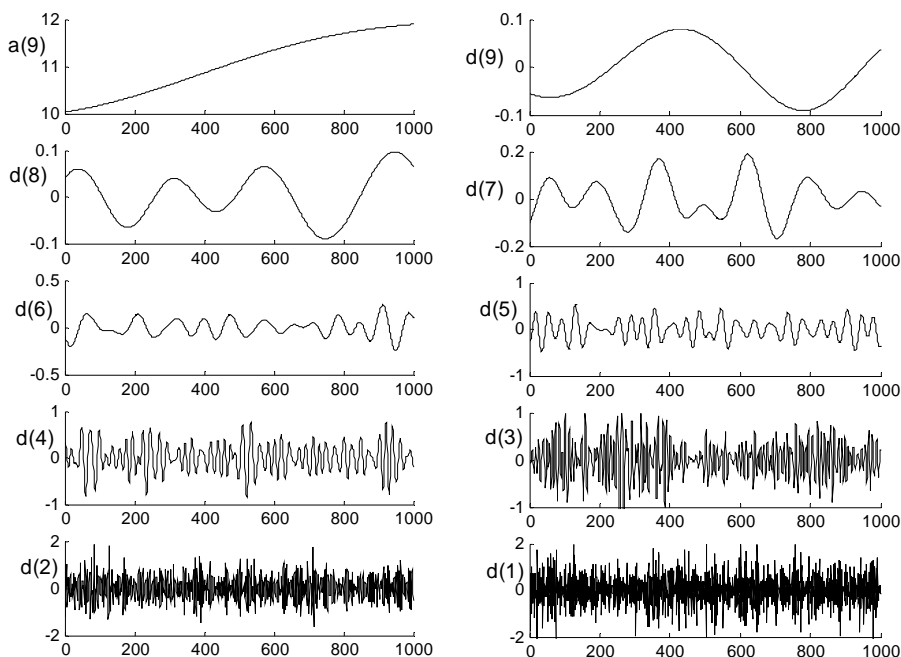


Рис. 3

На рис.2 и 3 приведены такие составляющие для выборок $x(t)$ (рис. 2; вейвлеты Мейера, $M = 9$) и $g(t)$ (рис. 3; вейвлеты

Мейера, $M = 9$). Для большей наглядности масштаб значений по осям ординат различен у разных графиков. Они получены с

использованием вейвлетов Мейера при $M = 9$ уровнях детализации.

Видно, что структура обеих выборок при всех масштабах, кроме базового, статистически одинакова. Это подтверждается сравнением пар составляющих методами статистического анализа.

Сравнение проводилось по средним, дисперсиям, гистограммам, критериям серий для разностей. Во всех случаях различие между детализирующими составляю-

щими обеих выборок оказалось незначимым. В то же время различие в базовых компонентах $a(M)$ безо всяких критериев позволяет однозначно идентифицировать наличие в выборке $g(t)$ нарастающего тренда среднего значения, который действительно есть в этой выборке.

Для обнаружения локального нарушения среднего уровня в выборке $q(t)$ были использованы вейвлеты Мейера и Хаара.

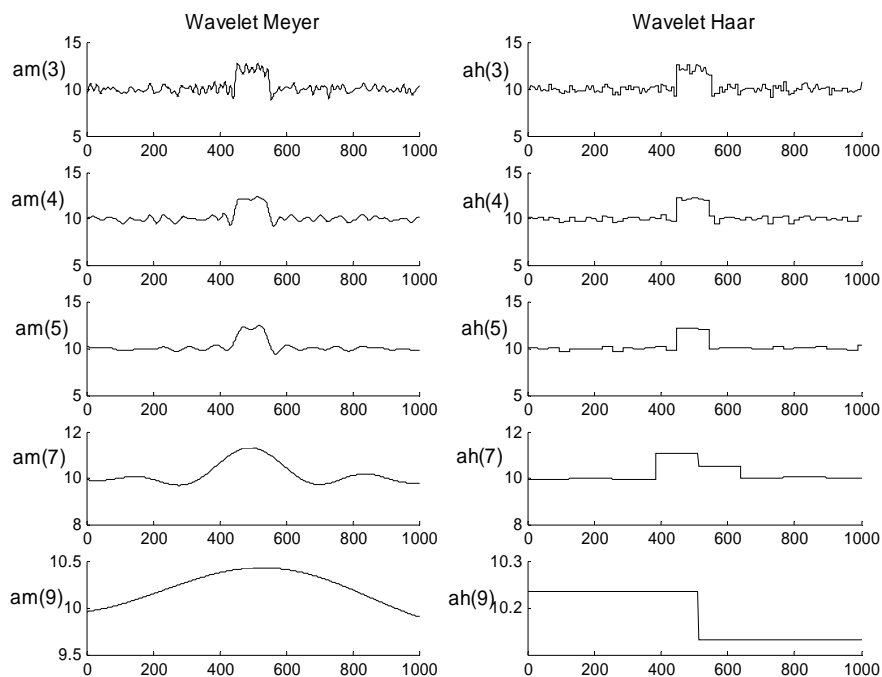


Рис. 4

На рис.4 показаны базовые компоненты этой выборки при разных максимальных уровнях детализации $M = 3; 4; 5; 7; 9$. Видно, что наилучшими являются уровни 4 или 5. Более низкие уровни содержат шумовую составляющую, более высокие (крупномасштабные) не выделяют имеющегося в выборке $q(t)$ локального эффекта.

Анализ выборки $s(t)$ с применением вейвлетов Мейера позволяет выделить периодическую составляющую на разных уровнях детализации, начиная с 4-го. При этом с увеличением уровня $M = 4, 5, 6, \dots$ периодическая составляющая сначала проявляется в базовой компоненте, а затем – в детализирующих, причем соответствующих 5-му уровню детализации.

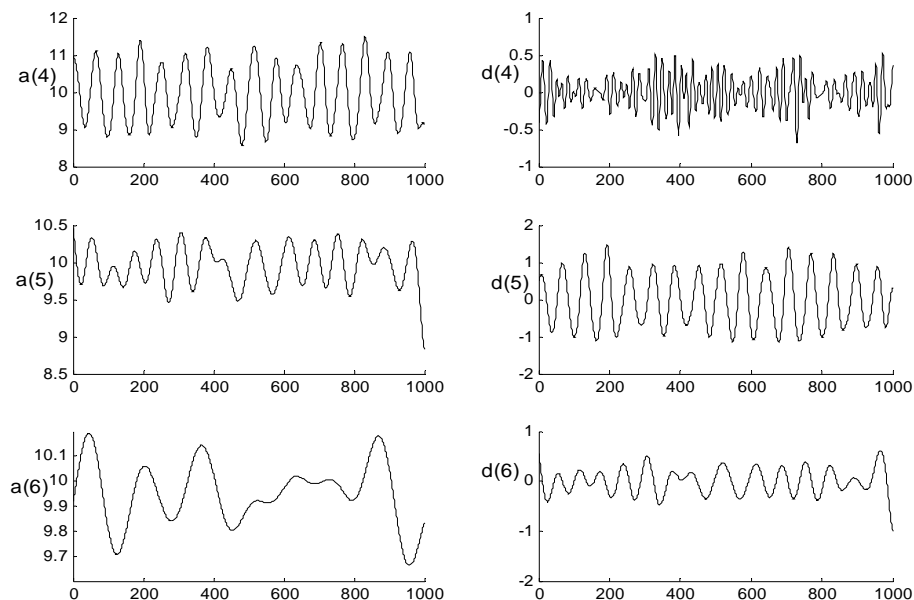


Рис. 5

Соответствующие компоненты разложения показаны на рис. 5 (выделение периодического компонента в выборке $c(t)$).

Значительно более сложной задачей оказывается обнаружение локального изменения дисперсии выборочных данных (выборка $p(t)$). Была использована пакетная обработка выборки с последовательным анализом компонентов и разделением каждого из них, полученного на предыдущем этапе анализа, на базовую и детализирующую компоненты.

В результате формируется дерево масштабного анализа. Просмотр отдельных

его узлов позволяет обнаружить компонент, наиболее явно выделяющийся присутствующий в выборке эффект.

В случае выборки $p(t)$ ветвь дерева, приводящая к такому компоненту, имеет вид:

$$(0;0) \rightarrow (1;0) \rightarrow (2;1) \rightarrow (3;3) \rightarrow (4;7) \rightarrow (5;14). \quad (3)$$

Здесь первый индекс означает уровень детализации. Четный второй индекс означает базовый, а нечетный – детализирующий компонент соответствующего уровня.

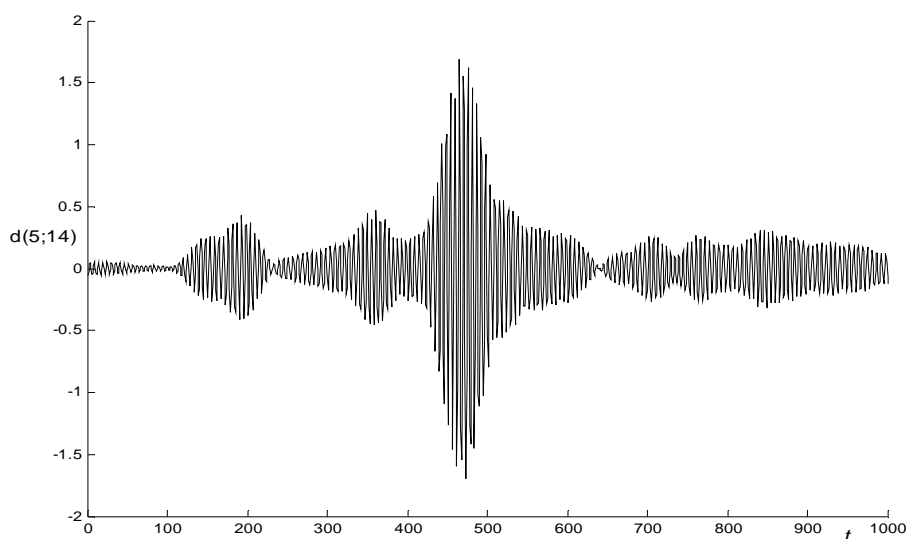


Рис. 6

Восстановленный по коэффициентам компонент $d(5;14)$ показан на рис.6. Он достаточно явно выделяет локальную особенность выборки $p(t)$.

Обработка выборки $r(t)$ со стационарной коррелированной неровнотой с помощью масштабного анализа при использовании доступных вейвлет-функций и вариантов анализа (простая и пакетная обработка, непрерывное и дискретное преобразование) не позволили обнаружить наличие особенностей, которые бы можно было интерпретировать как наличие корреляционных связей в неровноте продукта.

ВЫВОДЫ

1. Масштабный анализ с использованием вейвлет-преобразований может служить дополняющим инструментом анализа неровноты одномерных волокнистых продуктов наряду с традиционными методами градиентного, корреляционного и гармонического анализа.

2. Из числа типичных видов неровноты одномерных волокнистых продуктов масштабный анализ наиболее эффективно выделяет локальные и глобальные неоднородности среднего уровня показателя, например, линейной плотности: локальные изменения, монотонные изменения и периодические вариации, при условии удачного подбора класса вейвлет-функций и уровня детализации.

3. Обнаружение локальных изменений более тонкой структуры в стационарной неровноте, например, нестационарность дисперсии, может быть осуществлено лишь при весьма кропотливом и детальном масштабном анализе. В связи с этим воз-

можности исследования таких видов неровноты рассмотренными методами ограничены.

4. Стохастические свойства стационарной неровноты продукта обнаружить и оценить методами масштабного анализа практически невозможно, то есть для решения этих задач исследования неровноты данный метод анализа не пригоден.

5. Масштабный анализ позволяет разложить неровноту одномерного волокнистого продукта весьма общего вида на компоненты, проявляющие себя на разных масштабах длин продукта, и выполнить дальнейший статистический анализ этих компонентов отдельно. Эта возможность чрезвычайно важна и полезна с практической точки зрения для прогнозирования возможности переработки продукта на разных переходах прядильного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Севостьянов А.Г.* Методы исследования неровноты продуктов прядения. – М.: Ростехиздат, 1962.
2. *Севостьянов А.Г.* Современные методы исследования неровноты продуктов прядения. – М.: Легкая индустрия, 1966.
3. *Марпл-мл. С.Л.* Цифровой спектральный анализ и его приложения / Пер. с англ. – М.: Мир, 1990.
4. *Демиденко Е.З.* Линейная и нелинейная регрессия. – М.: Финансы и статистика, 1981.
5. *Дьяконов В.П.* Вейвлеты. От теории к практике. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: СОЛОН – Пресс, 2004.

Рекомендована кафедрой информационных технологий и вычислительной техники. Поступила 01.09.06.