
6. Обработка и количественный анализ СЗМ изображений

Содержание

6. ОБРАБОТКА И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ СЗМ ИЗОБРАЖЕНИЙ	6-1
6.1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ	6-2
6.2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.....	6-2
6.3. ЗАДАНИЕ.....	6-5
6.4. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ.....	6-5
6.5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	6-6
6.6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	6-8
6.7. ЛИТЕРАТУРА.....	6-8

Лабораторная работа была разработана Санкт-Петербургским государственным университетом информационных технологий механики и оптики.

6.1. Цель работы

Получить практические навыки в области обработки и количественного анализа СЗМ изображений.

6.2. Содержание работы

Улучшение качества СЗМ изображений

СЗМ изображения, в силу специфики метода, обычно содержат шумы. Это связано с вибрацией зонда относительно образца, акустическими помехами, шумами электрической аппаратуры, всегда присутствующими при измерении слабых сигналов. Искажения в изображения также вносятся из-за теплового дрейфа зонда относительно образца, нелинейности и крипа в пьезокерамических элементах, из которых изготавливается сканер. В связи с этим, для получения СЗМ изображений высокого качества и проведения их количественного анализа требуется специальная цифровая обработка этих изображений.

Основными методами фильтрации СЗМ изображений являются:

Сглаживание

Сглаживание изображения в простейшем случае выполняется путем замены значения в каждой точке усредненным значением величин в некоторой окрестности этой точки.

Медианная фильтрация

При медианной фильтрации для каждой точки изображения строится вариационный ряд для некоторой ее окрестности, то есть все элементы этой окрестности располагаются в порядке возрастания, и значение в этой точке заменяется на значение элемента, занимающего центральное положение в вариационном ряду. Медианная фильтрация особенно эффективна при обработке изображений, содержащих импульсные помехи.

Удаление горизонтальных полос на изображении путем выравнивания средних значений элементов в каждой строке изображения. Наличие горизонтальных полос на изображении является характерным искажением СЗМ изображений. Это связано с тем, что изображения в СЗМ эксперименте обычно получаются путем построчного сканирования, и время между измерениями в соседних точках одной строки существенно меньше времени между измерениями соседних точек в направлении, перпендикулярном направлению сканирования.

Удаление наклона изображения путем вычитания плоскости. Наклон изображения может быть следствием наклонного положения образца по отношению к плоскости, в которой перемещается зонд при сканировании, а так же может возникать вследствие теплового дрейфа.

Вычитание поверхности второго порядка. Методами СЗМ преимущественно исследуют тонкую структуру поверхности, поэтому грубый рельеф часто не информативен, и его необходимо устранять.

Количественный анализ СЗМ изображений

Построение гистограммы изображения

Одним из методов анализа изображений является построение гистограммы значений в точках изображения. При построении гистограммы горизонтальная ось содержит весь диапазон значений в точках изображения, а по вертикальной оси откладываются количества точек, имеющих данное значение для всех значений из этого диапазона.

Определение параметров шероховатости поверхности

Для количественной характеристики СЗМ изображений часто используют параметры шероховатости изображения, которые определяются следующим образом:

$$\text{Средняя шероховатость } S_a = \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} |z(x_k, y_l) - \mu|, \quad (1)$$

где

$$\mu \text{ средняя высота изображения: } \mu = \frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} z(x_k, y_l);$$

$$\text{Среднеквадратичная шероховатость } S_q = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} [z(x_k, y_l) - \mu]^2}. \quad (2)$$

Для корректного определения шероховатости необходимо предварительно удалить неровность фона изображения, для этого вычесть плоскость либо удалить поверхность второго порядка.

Построение Фурье-спектра изображения

Фурье-спектр пространственных частот изображения является его частотным представлением в ортонормальном базисе, состоящем из комплексных экспонент. Представление изображения в таком пространстве дает возможность наблюдать его структурные особенности, связанные с периодичностью повторения элементов, наличием мелких деталей, др. Пространственные частоты имеют размерность, обратную единицам измерения расстояний на изображении.

Представление изображения в базисе комплексных экспоненциальных функций задается парой преобразований Фурье (рассматривается случай непрерывной функции интенсивности $a(x, y)$, заданной на бесконечном поле):

$$F(f_x, f_y) = \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} a(x, y) \exp[-i2\pi(f_x x + f_y y)] dx dy \quad (3)$$

– прямое преобразование,

$$a(x, y) = \int_{-\infty-\infty}^{\infty} \int_{-\infty-\infty}^{\infty} F(f_x, f_y) \exp[i2\pi(f_x x + f_y y)] dx dy \quad (4)$$

– обратное преобразование,

где x, y - координаты в плоскости изображения,

f_x, f_y - пространственные частоты.

Понятия, связанные частотным представлением бесконечных непрерывных сигналов, могут быть распространены на случаи сигналов ограниченной протяженности и дискретных сигналов, встречающиеся при цифровой обработке на практике.

Рассмотрим прямоугольное изображение шириной N и высотой M . Преобразование Фурье такого изображения имеет вид:

$$F(u, v) = \int_{-M/2}^{M/2} \int_{-N/2}^{N/2} f(x, y) \exp(-i2\pi(ux + vy)) dx dy. \tag{5}$$

Преобразование Фурье ограниченного в пространстве сигнала ($f(x,y)=0$ при $|x|>N/2$ и $|y|>M/2$), если его представить периодически размноженным по всей плоскости, является дискретным, т.е. содержит лишь счетное количество гармоник на частотах $[k/N, l/M]_{-\infty < k, l < \infty}$.

Спектр неограниченного в пространстве дискретного изображения является периодической функцией. Если расстояния между точками, в которых заданы отсчеты изображения по осям OX и OY равны соответственно Δx и Δy , то периоды преобразования Фурье равны $1/\Delta x$ и $1/\Delta y$. Если начало отсчета поместить в центральной точке матрицы периодически повторяющегося фурье-образа, то максимальные пространственные частоты будут равны $\pm 1/2\Delta x$ и $\pm 1/2\Delta y$. Максимальная частота, которая может быть получена при заданном шаге дискретизации сигнала, называется частотой Найквиста. В полученном периодическом преобразовании Фурье дублирующиеся спектральные составляющие можно отбросить и считать, что дискретный сигнал имеет ограниченный по частоте спектр.

Таким образом, просуммировав приведенные рассуждения, можно сделать вывод, что Преобразование Фурье ограниченного в пространстве дискретного изображения является также дискретным и ограниченным по частоте. Максимальные пространственные частоты определяются шагом дискретизации изображения.

Ограниченность спектра дискретного изображения по частоте можно продемонстрировать, рассмотрев простой пример. Самый маленький период повторения на изображении мы можем получить, если будем чередовать белые и черные точки, например, вдоль оси OX . Этот период будет равен $2\Delta x$, а соответствующая пространственная частота равна $1/2\Delta x$.

Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) изображения, заданного в точках $f_{k,l}, k = 0, \dots, M-1, l = 0, \dots, n-1$ определяется по формуле:

$$F_{m,n} = \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{N-1} f_{k,l} \exp\left[-i2\pi\left(\frac{km}{M} + \frac{ln}{N}\right)\right], \tag{6}$$

Для графического представления Фурье-образа изображения строится матрица модулей комплексных величин преобразования, полученных по формуле (6). Для действительного изображения такая матрица является центрально симметричной. Отсчет частот ведется от ее центра. Значения пространственных частот увеличиваются от центра Фурье-образа к его краям. Фурье-образ изображения, состоящего из горизонтальных синусоидальных полос, представляет собой две точки, расположенные на вертикальной оси в частотной плоскости на одинаковом расстоянии f_0 от центра. При этом период T

повторения полос на изображении равен $T = \frac{1}{f_0}$.

6.3. Задание

Работа может проводиться в двух вариантах:

- Анализ ранее полученного изображения.
- Проведение измерений получение нового изображения, обработка и анализ этого изображения.

В работе необходимо:

- Выполнить фильтрацию изображения;
- Измерить и сравнить параметры шероховатости изображений до и после фильтрации;
- Построить Фурье-спектр изображения и измерить величины преобладающих пространственных частот спектра, сравнить соответствующие этим частотам периоды повторения элементов изображения с интервалами, полученными при измерениях на изображении. Определить углы между направлениями на изображении двумя способами и сравнить результаты.

6.4. Оборудование и принадлежности

1. Прибор NanoEducator
2. Образцы с периодическими структурами.

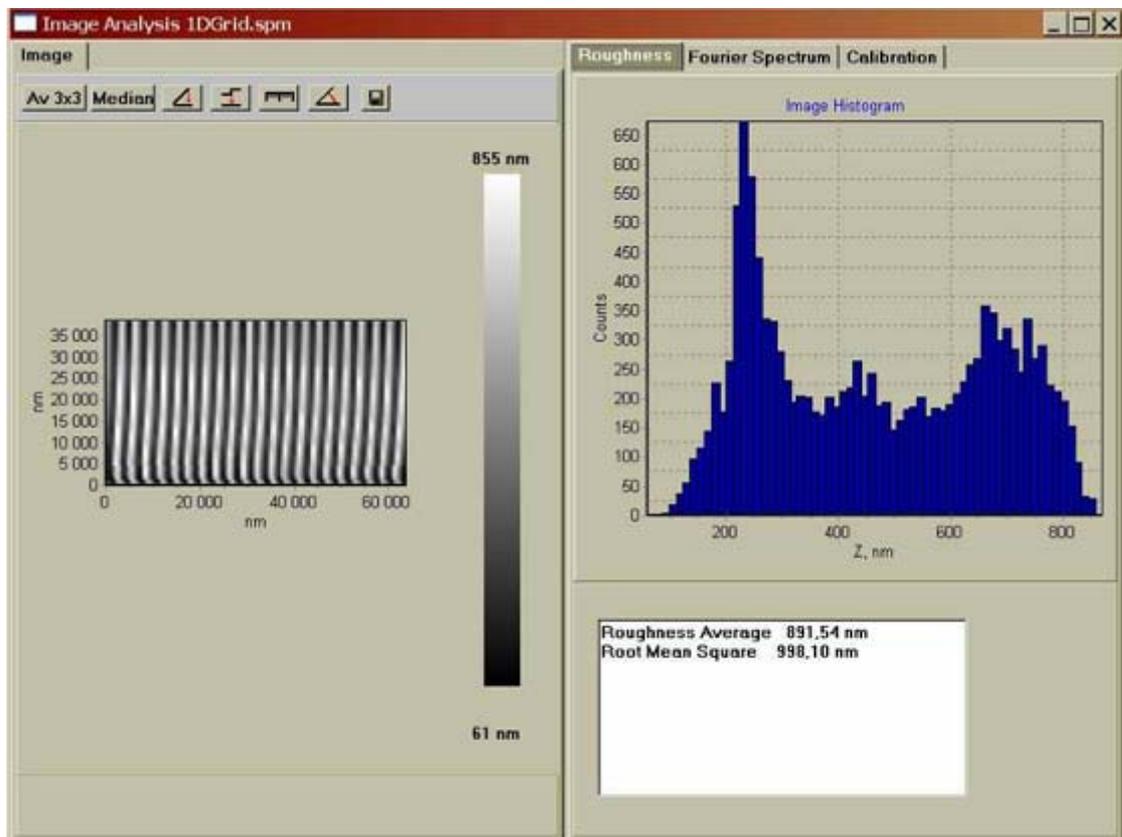


Рис. 6-1. Окно анализа изображений.
Выполнение анализа свойств поверхности изображения

6.5. Методические указания

В случае выполнения варианта А лабораторной работы необходимо:

- Выполнить все подготовительные действия для проведения СЗМ эксперимента, в соответствии с инструкцией пользователя.
- Выполнить сканирование образца по одному из методов, описанных в Руководстве.
- Полученное изображение сохранить в выбранном каталоге.

Следующие этапы работы, посвященные обработке и анализу данных, совпадают для вариантов А и Б.

Для их выполнения необходимо:

- Ознакомиться с главой «Работа с полученными ранее файлами» Руководства пользователя.
- Перейти к просмотру и обработке данных с помощью программы NanoEducator.
- Открыть файл, с которым будет проводиться работа, провести контрольное сечение изображения.
- Определить характер имеющихся искажений и провести необходимую обработку и фильтрацию данных с помощью методов, доступных в программе.
- Провести контрольные сечения файла после обработки и сравнить с сечением исходного изображения.
- Вызвать окно **Image Analysis** (Рис. 6-1) при активном окне обработанного изображения. Изучить и описать гистограмму изображения. Зафиксировать значения величин средней и среднеквадратичной шероховатости.
- Открыть закладку **Fourier Spectrum** (Рис. 6-2, Рис. 6-3). Определить по характеру спектра, имеются ли на изображении периодические структуры. Если имеются, то измерить величины преобладающих частот (переход в режим измерения частот осуществляется при нажатии кнопки **Freq**), указав на них на изображении Фурье-образа с помощью левой кнопки мыши. Сравнить периодичность изображений, измеренную при помощи инструмента  расположенного над исходным изображением, с результатами, полученными с помощью Фурье-образа. Измерить величины углов между направлениями (инструмент ) по изображению Фурье-образа и сравнить с величинами углов между соответствующими сечениями исследуемого изображения.

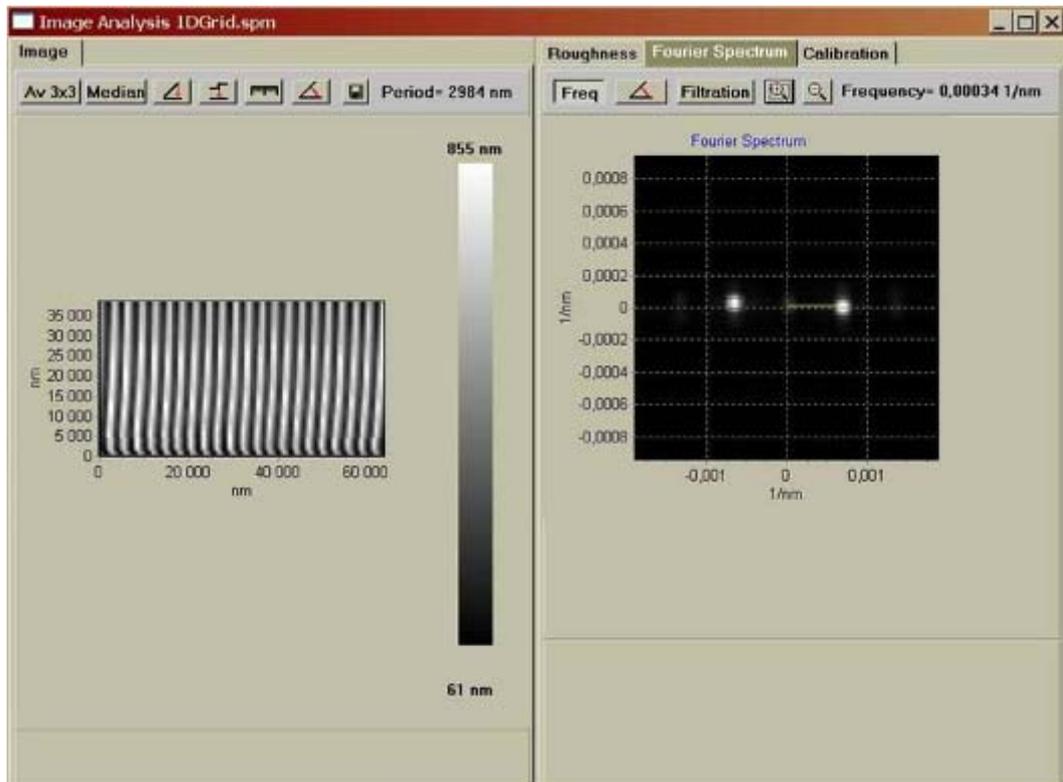


Рис. 6-2. Окно анализа изображений. Выполнение анализа Фурье-спектра изображения одномерной периодической структуры

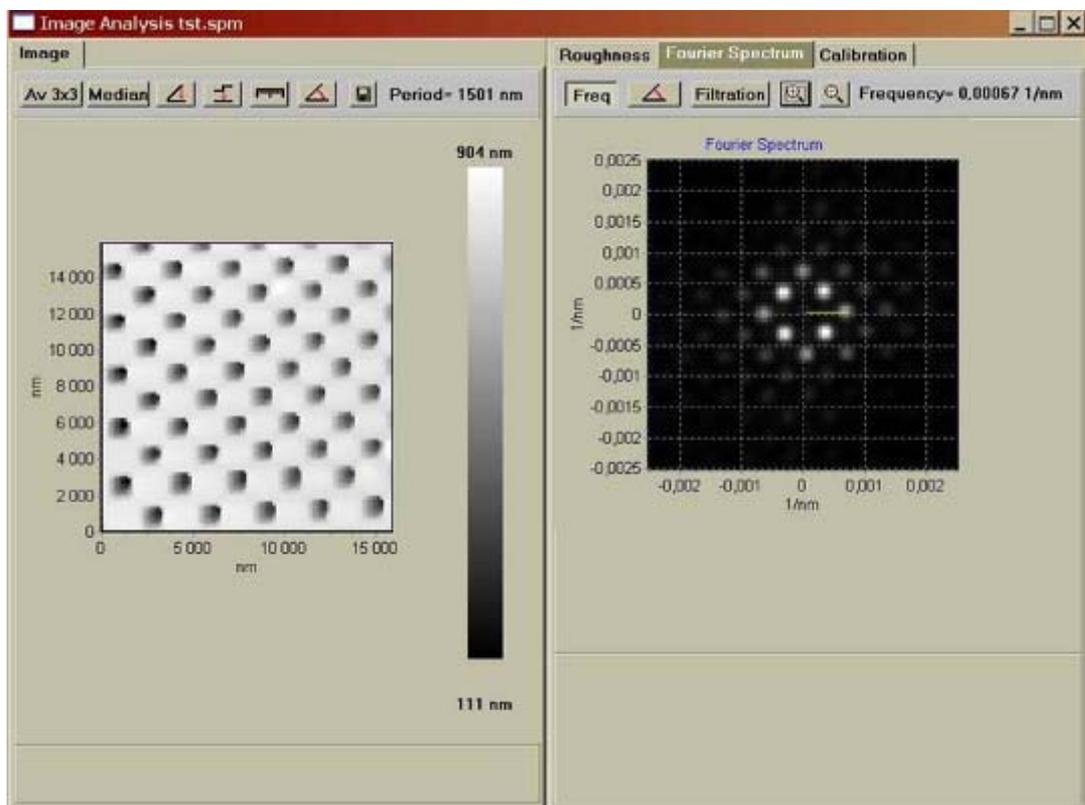


Рис. 6-3. Пример анализа двумерного периодического изображения с помощью Фурье-спектра

6.6. Контрольные вопросы

1. Какие типы искажений характерны для СЗМ изображений, и по каким причинам они возникают?
2. Каковы основные методы фильтрации СЗМ изображений?
3. Назовите некоторые методы определения количественных характеристик изображений.
4. Для каких изображений следует воспользоваться частотным представлением?
5. Какую информацию об изображении можно получить по его Фурье-образу?

6.7. Литература

- Лит. 6-1 Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. – М.: Мир, 1976, 511 стр.
- Лит. 6-2 Прэтт У. Цифровая обработка изображений – М.: Мир, 1982, книги 1, 2, 790 стр.
- Лит. 6-3 Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений – М.: Сов.радио, 1979. 312 стр.