

---

---

# АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

---

---

УДК 608.3

В. И. СЫРЯМКИН, В. А. БОРОДИН, А. В. ОСИПОВ,  
А. В. ВАСИЛЬЕВ, Г. С. ГЛУШКОВ

## АНАЛИЗ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ РЕНТГЕНОВСКИМИ МИКРОТОМОГРАФАМИ

Рассматриваются принципы восстановления и анализа изображений органических и неорганических объектов, получаемых рентгеновскими микротомографами.

*Ключевые слова:* изображение, дефектоскопия, техническая диагностика, микротомограф.

Компьютерная рентгеновская микротомография — неразрушающий метод визуализации трехмерной внутренней микроструктуры объектов с использованием рентгеновского излучения. Метод аналогичен медицинской томографии, но обладает значительно более высоким пространственным разрешением. Метод рентгеновской томографии пространственной микроструктуры и морфометрии материалов, живых объектов или тканей не требует подготовки образцов и изготовления тонких срезов с последующим совмещением. Сканирование объектов исследования позволяет получить полные сведения о внутренней пространственной микроструктуре образца с микронным и субмикронным пространственным разрешением, сохраняя структуру образца или жизнь подопытного животного.

На сегодняшний день лидером в производстве настольных микротомографов различной специализации является компания SkyScan. Но этим томографам присущи следующие недостатки:

- 1) низкое быстродействие (время построения трехмерного изображения — более 2 ч);
- 2) малые размеры объекта исследования (до 50 мм);
- 3) невозможность диагностики наноматериалов.

Ниже описывается разрабатываемый рентгеновский микротомограф, в котором устранены вышеназванные недостатки; его обобщенная схема представлена на рисунке.

Трехмерное изображение образца строится на основе полученных при просвечивании рентгеновским лучом теневых проекций, которые преобразуются в цифровые изображения.

В спиральных компьютерных томографах сканирование и получение изображения происходит следующим образом. Рентгеновская трубка в режиме излучения обходит заданный участок объекта по дуге  $360^\circ$ , совершая продольное перемещение и останавливаясь через каждые  $3^\circ$  этой дуги. На одной оси с рентгеновским излучателем закреплены детекторы — кристаллы йодистого натрия, преобразующие ионизирующее излучение в световое. Последнее

попадает на фотоэлектронные умножители, превращающие эту видимую часть в электрические сигналы. Электрические сигналы усиливаются, затем преобразуются в цифровой вид, далее вводятся в ЭВМ. Рентгеновский луч, пройдя через среду поглощения, ослабляется пропорционально плотности тканей, встречающихся на пути, и несет информацию о степени его ослабления в каждом положении сканирования.



Основные проблемы, возникающие при эксплуатации рентгеновских микротомографов, — невысокая точность позиционирования объекта в рабочей зоне, расфокусировка рентгеновского луча и недостаточно малый размер фокального пятна — могут вызывать целый спектр искажений на полученных теневых проекциях.

Для изображений, полученных с помощью рентгеновского микротомографа, характерны следующие виды искажений:

- случайные шумы, которые могут появляться на изображении в результате дискретизации, квантования, передачи или возмущений внешней среды при получении изображения;
- искажения, вносимые магнитной оптической системой, рентгеновской трубкой и рентгеновским детектором (расфокусировка, низкая контрастность, яркость).

Представим искажение изображения случайными шумами как действие некоего искажающего оператора  $H$  на исходное изображение  $f(x,y)$ , что после добавления аддитивного шума дает искаженное изображение  $g(x,y)$ . Задача компенсации состоит в построении некоего приближения исходного изображения  $f'(x,y)$  на основе искаженного изображения  $g(x,y)$ , информации относительно оператора  $H$  и аддитивного шума  $\eta(x,y)$ .

Если  $H$  — линейный трансляционно-инвариантный оператор, то искаженное изображение может быть представлено в пространственной области как

$$g(x,y) = h(x,y) * f(x,y) + \eta(x,y),$$

где  $h(x,y)$  — искажающий оператор в пространственной области, а символ „\*“ используется для обозначения свертки. Так как свертка в пространственной области эквивалентна умножению в частотной области, то равенство можно представить как:

$$G(u,v) = H(u,v)F(u,v) + N(u,v),$$

где функции  $G, H, F, N$  есть фурье-образы  $g, h, f, \eta$  [см. лит.].

В случае расфокусировки изображения представляется целесообразным использовать фильтры, задаваемые дискретными аппроксимациями дифференциальных операторов (по методу конечных разностей) для поиска и выделения границ на изображении (фильтры Прюита, Собеля, дискретный лапласиан) с дальнейшей обработкой изображения посредством морфологических операторов.

Остальные искажения, вносимые оптической системой, могут быть компенсированы путем приложения к компонентам искаженного изображения (или его части)  $g(x,y)$  некоего линейного оператора  $A$ . В результате этого преобразования может быть получено приближение исходного изображения  $f'(x,y)$ , достаточно близкое к оригинальному неискаженному изображению  $f(x,y)$ . Следует сказать, что искажения яркости и контрастности не приводят к потере информации.

Возможно для детектирования искажений адаптировать фрактальные и корреляционные алгоритмы и вейвлет-анализ. Применение фрактальной геометрии дает эффективный инструмент в изучении сильно искаженных изображений. Любое искажение находит однозначное отражение в изменениях яркости отдельных точек изображения. Поэтому изучение взаимодействия элементов искаженного изображения позволяет получить информацию об искажениях, которым было подвергнуто изображение в целом.

Корреляционный метод позволяет на основании сопоставления серий изображений, снятых при различной степени шума, определить их информационные признаки, а также служит для получения качественных картин распределения искажений на изображении, дальнейший анализ которых позволит исследовать процессы искажения при различных условиях получения изображений.

Можно выделить три основных алгоритма сравнения изображений: модифицированный корреляционный, разностный и разностный быстрый. Выбор определяется требованиями, предъявляемыми к системе. Например, применение первого алгоритма обеспечивает высокие точностные характеристики (при невысоком быстродействии) за счет улучшения параметров корреляционной функции. Использование двух других алгоритмов повышает быстродействие за счет значительного сокращения вычислительных операций.

Места искажения изображения в поле векторов можно обнаружить по „вихрям“ (группы векторов разной длины и направленности).

Вейвлет-преобразование высокоинформативно, но характеризуется большим объемом вычислений, а также, как правило, избыточностью представления результатов (по сравнению с фурье-преобразованием). Это объясняется, прежде всего, тем, что вейвлет-преобразование позволяет вычислить относительный вклад частот в каждый момент времени (путем нахождения свертки с разномасштабными версиями вейвлета). Следовательно, наблюдается эволюция спектра, аналогичного Фурье, но не за выбранный период времени, как в случае фурье-преобразования, а по всему временному интервалу. Таким образом, для информативного разложения исходного сигнала достаточно знать его вейвлет-преобразование на некоторой довольно редкой решетке в частотно-временной плоскости.

Метод градиентного анализа плотности позволяет локализовать различные слои материалов, поверхностные и внутренние дефекты (трещины и микротрещины, примеси и пустоты, пластичные деформации), внутренние напряжения материала исследуемого образца по восстановленной 3D-реконструкции, а также определить их метрические характеристики. Полученная с помощью данного метода информация об исследуемом объекте позволяет сделать выводы о механических характеристиках его участков.

Работа выполнена по федеральной целевой программе РФ, государственный контракт № 16.523.11.3009.

## ЛИТЕРАТУРА

Бубенчиков М. А., Газиева Е. Э., Гафуров А. О., Глушков Г. С., Жданов Д. С., Саньков Д. В., Сырямкин В. И., Шидловский С. В., Юрченко А. В. Современные методы исследования материалов и нанотехнологий. Томск: Изд-во Томского ун-та, 2010.

*Сведения об авторах*

- Владимир Иванович Сырямкин** — д-р техн. наук, профессор; Томский государственный университет, Межвузовский учебно-научно-производственный центр „Технологический менеджмент“ ТГУ; директор центра
- Владимир Алексеевич Бородин** — аспирант; Томский государственный университет, кафедра исследования операций; E-mail: vborodin@yandex.ru
- Артем Владимирович Осипов** — аспирант; Томский государственный университет, кафедра исследования операций; E-mail: avoriso@mail.ru
- Александр Владимирович Васильев** — ОАО „Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов“, Томск; руководитель группы
- Глеб Сергеевич Глушков** — ОАО „Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов“, Томск; инженер-программист; E-mail: gvl@sibmail.com

Рекомендована Юго-Западным  
государственным университетом

Поступила в редакцию  
24.10.11 г.