

Секция 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

УДК 004.93, 535.317,548.732

МЕТОДЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СЪЕМКИ В РЕНТГЕНОГРАФИИ

Балухо И.Н., Дудчик Ю.И., Трапенюк Н.В., Кольчевский Н.Н.

НИИ ПФП им. А.Н. Севченко Белорусского государственного университета
Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Разработана программа «X-ray Vox», которая вычисляет распределение интенсивности рентгеновского излучения на детекторе в зависимости от угла поворота объекта. Произведен расчет распределения интенсивности в зависимости от угла поворота объекта и расчет новых координат проективной формы объекта на основе оператора поворота. Выполнены численные эксперименты для прямоугольных пластин. Результат разностной съемки содержит положительную и отрицательную часть графика, позволяющий определить границы объекта. Разработана программа и алгоритмы для моделирования для моделирования и распознавания различных объектов. Выполнены экспериментальные исследования сеток и зонных пластинок с поворотом в рентгеновских лучах для получения изображения.
Ключевые слова: X-ray Vox, рентгеновское излучение, разностная съемка.

DIFFERENTIAL IMAGING METHODS IN RADIOGRAPHY

Balukho I.N., Dudchik Y.I., Trapenok N.V., Kolchevsky N.N.

A.N. Sevchenko Institute of Applied Physical Problems BSU
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Developed the program "X-ray Box", which calculates the intensity distribution of X-ray emission on the detector depending on the rotation angle of the object. Calculated the intensity distribution based on the rotation angle of the object and calculated new coordinates of the projective form of the object on the basis of the rotation operator. Performed numerical experiments for rectangular plates. The result of the difference survey contains positive and negative parts of the graph, which allows to determine the boundaries of the object. Developed software and algorithms for modelling to simulate and recognise various objects. Performed experimental studies of meshes and zone plates with rotation in X-rays for obtaining an image.

Key words: X-ray Vox, X-ray emission, difference imaging.

Адрес для переписки: Кольчевский Н.Н., ул. Курчатова 7 – 403, г. Минск, 220045, Республика Беларусь
e-mail: kolchevsky@bsu.by

Метод дифференциальной съемки используется для получения изображений слабопоглощающих рентгеновское излучение объектов [1]. Основу метода составляет получение двух изображений объекта при изменении углового положения, и формирование разностного изображения. Метод дифференциальной съемки направлен на обнаружение границ объектов, которые существенно изменяют пропускание при угловом повороте объекта. Этот принцип был заложен в основу программы «X-ray Vox».

Программа «X-ray Vox» моделирует процесс прохождения рентгеновских лучей, через объект при заданном угле поворота и рассчитывается распределение интенсивности на детекторе.

Формула, описывающая метод дифференциальной съемки, представляет собой следующее выражение:

$$I(x, y) = I_0 e^{-\mu(\lambda) \cdot D(a_x, a_y, a_z, x_0, y_0, z_0, \alpha, \beta, \gamma)}, \quad (1)$$

где I_0 – интенсивность источника излучения, $\mu(\lambda)$ – линейный коэффициент поглощения материала объекта в зависимости от длины волны излучений λ ; $D(a_x, a_y, a_z, x_0, y_0, z_0, \alpha, \beta, \gamma)$ – толщина объекта

по направлению вектора (a_x, a_y, a_z) при повороте относительно оси (x_0, y_0, z_0) на угол (α, β, γ) .

Численные эксперименты выполнены для прямоугольных пластин размером 20–1000 мкм, для углов поворота от 1 до 90 градусов (рисунок 1). При повороте объекта толщина объекта меняется, и проективная форма объекта будет представлять собой трапецию, которая при увеличении угла свыше 40 градусов принимает треугольную форму (рисунок 1, а). Эффект «трапеции» при повороте объекта, приводит к изменению эффективной длины объекта, что также проявляется на изменении распределения интенсивности.

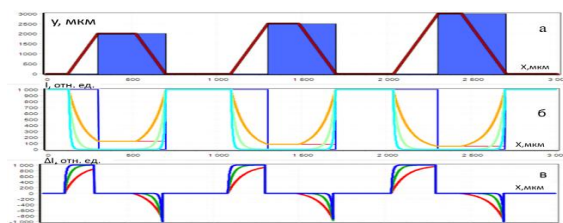


Рисунок 1 – Результаты расчетов программы «X-ray vox» для толщины 3000 мкм: зависимость толщины от координаты (а); распределение интенсивности на детекторе (б); результат дифференциальной съемки (в)

Распределение интенсивности на детекторе в зависимости от коэффициента поглощения объекта показаны на рисунке 1. Коэффициенты поглощения соответствуют разным материалам: C_3H_6 (*polypropylene*) – синяя линия, Cu (меди) – зеленая линия, $C_5O_2H_8$ (*plexiglass*) – красная линия. С увеличением линейного коэффициента поглощения растет контраст в изображении границ объектов (рисунок 1, б–в). При повороте пластинки наблюдается спад интенсивности, что может характеризоваться некоторым размытием изображения на детекторе.

Результат дифференциальной съемки ΔI с пиками, определяющими границы объекта показан на рисунке 1, в, где зеленая линия – медь, красная линия – плексиглас, синяя линия – полипропилен. Видно, что при повороте объекта результат дифференциальной съемки проявится на участках 150–300 мкм и 550–700 мкм, и зависимость яркости изображения будет иметь нелинейный характер. При увеличении линейного коэффициента поглощения увеличивается разностный контраст (рисунок 1). Результат дифференциальной съемки содержит положительную и отрицательную часть графика. Положительная часть ΔI соответствует светлым элементам изображения, а отрицательная – темным элементам. Наличие темных и светлых элементов увеличивает контраст изображения и характеризует границы объекта.

Разработана программа для моделирования сеток. Разработаны алгоритмы для моделирования и распознавания различных объектов. Алгоритм распознавания основан на анализе распределения активных пикселей детектора в сравнении с равномерным распределением плотности пикселей при равномерном засвечивании детектора.

На рисунке 2 изображены результаты моделирования и результаты экспериментального исследования полимерных сеток. Качественное сходство позволяет сделать вывод о возможности регистрировать параметры изображения, например, шаг сетки, толщина, ориентация в условиях экстремально малого числа фотонов на детекторе.

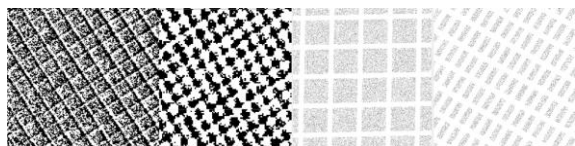


Рисунок 2 – Экспериментальные (1 и 2 слева) и расчетные (3, 4 справа) изображения решеток

Для получения стереоизображений в рентгеновском диапазоне использовался источник рентгеновских лучей в виде рентгеновской трубки с медным анодом, рабочее напряжение на аноде трубки 12 кВ, анодный ток – 2 мА, биннинг 2.

Изображение было записано с помощью рентгеновской камеры Photonic Science. Размер рабочей области рентгеновской камеры составляет 18×12 мм², число пикселей равно 4008×2670 . Размер пикселя камеры составляет 4,5 мкм. При съемке объекта использовалась функция биннинга, которая позволяет объединять несколько пикселей камеры в один.

Выполнены экспериментальные исследования сеток с поворотом для получения изображения в рентгеновских лучах. На рисунке 3, а–в (слева) показаны результаты вычитания изображений, при углах поворота на 2 градуса (а), на 4 градуса (б) и на 6 градусов (в). Расстояние от источника до объекта = 450 мм, а расстояние от объекта до камеры 15 мм. Видно, что при увеличении угла поворота, размер контрастного изображения возрастает.

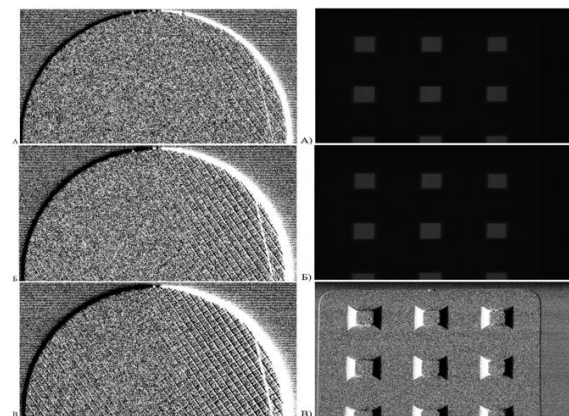


Рисунок 5 – Изображения объектов в рентгеновских лучах: сетка (слева), зонная пластинка (справа)

Также были выполнены экспериментальные исследования зонных пластинок с поворотом. На рисунке 3 (справа) показан результат, полученный вычитанием изображений, при угле поворота на 1 градус. Напряжение на аноде составляло 20 кВ, ток 2 мА, биннинг 1. Расстояние от источника до объекта = 600 мм, расстояние от объекта до камеры 10 мм.

Благодарности. Работа частично поддержана Министерством образования Республики Беларусь в рамках задания 3.07 ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении», подпрограмма «Техническая диагностика».

Литература

1. Дудчик, Ю.И. Цифровая рентгенография слабопоглощающих рентгеновское излучение объектов / Ю.И. Дудчик, А.А. Субач // Приборостроение – 2022: материалы 15-й Международной научно-технической конференции, 16–18 ноября 2022 года, Минск, Республика Беларусь / редкол.: О.К. Гусев (председатель) [и др.]. – Минск : БНТУ, 2022. – С. 22–23.