

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ НА ОСНОВЕ ПРЯМОГО
ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РАДОНА**

А.Д. Ломыгин, А.Х. Оздиев

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Ю.Ю. Крючков

Томский Политехнический Университет, Россия, Томск, пр.Ленина 30, 634050

lomyginanton141@gmail.com

X-RAY TOMOGRAPHY SIMULATION BASED ON DIRECT RADON TRANSFORM

A.D. Lomygin, A.H. Ozdiev

Scientific Supervisor: Prof., Dr. Yu.Yu. Kryuchkov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

lomyginanton141@gmail.com

***Abstract.** Nowadays X-Ray tomography is one of the most actual direction of the development of non-destructive testing methods. Except of experimental setup to conduct the x-ray tomographic measurements it is necessary to have stable and flexible software. Existing software packages for the reconstruction of tomographic data mostly is not freeware distributed, and this makes conducting tomographic experiments not flexible, because of the restriction of the correction of the source code. This papers explains how to implement one of the important parts of tomographic research, namely the part of simulation of the experimental data, which allows to test reconstruction algorithms further.*

Введение. Наиболее простым способом моделирования процесса взаимодействия рентгеновского пучка с исследуемым объектом с математической точки зрения является прямое преобразование Радона. Пусть на плоскости, где введена прямоугольная система координат $\{x, y\}$, задана функция $f(x, y)$. Проинтегрируем эту функцию по некоторой прямой, лежащей в данной плоскости. Очевидно, результат интегрирования, который обозначим R , зависит от того, по какой именно прямой проводится интегрирование. Всякая прямая может быть описана уравнением

$$x \cdot \cos(\varphi) + y \cdot \sin(\varphi) - s = 0, \quad (1)$$

где s – расстояние от начала координат до этой прямой, φ – угол, образованный с осью x перпендикуляром, опущенным из начала координат на эту прямую. Согласно формуле (1) произвольная прямая однозначно задается двумя параметрами s и φ . Поэтому и результат интегрирования функции $f(x, y)$ по некоторой прямой будет зависеть от этих же параметров, т.е. $R = R(s, \varphi)$.

Это преобразование имеет специальное название – преобразование Радона, а функцию $R(s, \varphi)$ часто называют образом функции $f(x, y)$ в пространстве Радона [1]. Таким образом, моделирование томографического эксперимента представляет из себя расчет интегральных сумм вдоль направления распространения рентгеновского излучения. В качестве тестового изображения был использован фантом Шеп-Логана, который является моделью человеческой головы, использованной учеными Л. Шепом и Б. Логаном в своих исследованиях.

Моделирование. Тестовый фантом моделирует одиночный слой исследуемого объекта, по сути это обычное изображение, которое представляет собой двумерный массив [2]. Суммирование каждого отдельного значения пикселя вдоль траектории пучка будет выполнять моделирование томографического сканирования. С одной стороны, можно предположить, что толщина каждого отдельного луча равна толщине пикселя, с другой стороны, если необходимо получить значение между двумя пикселями, оно может быть аппроксимировано из соседних пикселей. Существует два способа моделирования томографического эксперимента – моделирование параллельного и моделирование веерного пучков излучения.

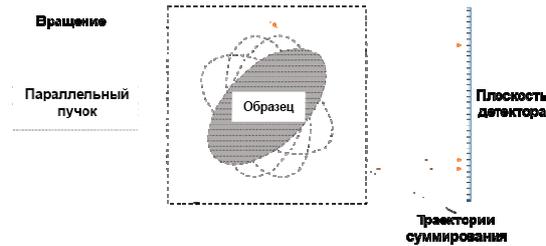


Рис. 1 – Параллельное распространение рентгеновского излучения

Параллельный пучок. В случае параллельного пучка(рисунок 1) моделирование выполняется путем суммирования значений пикселей в прямом направлении вдоль параллельных друг другу траекторий. В этом случае алгоритм представляет собой цикл, состоящий из двух этапов: суммирование и вращение [3]. Угловой диапазон и угловой шаг определяет количество циклов и количество строк или столбцов в синограмме. Каждый угловой поворот в результате дает строку синограммы. Конечная синограмма формируется из набора таких строк.

Веерный пучок. В случае веерной формы пучка следует считать, что траектории лучей не совпадают со строками массива, которые являются тестовым изображением. По-прежнему необходимо вычислять сумму значений из пикселей, которые лежат на одних и тех же прямых линиях, которые распространяются не параллельно друг другу, а в форме веера или конуса, если говорить о трехмерном случае, повторяя при этом форму реального рентгеновского пучка. В этом случае как раз необходима операция аппроксимации значения из двух соседних пикселей. Алгоритм моделирования томографического эксперимента для случая веерного пучка состоит из трех этапов: вычисление траекторий распространения пучка; суммирование значений, лежащих на вычисленных траекториях и поворот тестового изображения.

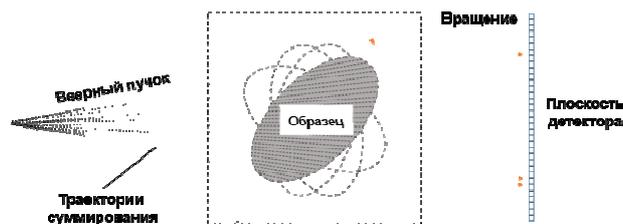


Рис. 2 – Веерное распространение рентгеновского излучения

Результаты моделирования. Для того, чтобы подтвердить, что алгоритм работает корректно, полученные синограммы были использованы для восстановления первоначального тестового изображения для обеих геометрий – параллельной и веерной. Программное обеспечение SkyScanNRecon используется для восстановления поперечного сечения изображения из проекционных данных, его работа основана на алгоритме Фельдкамп. На рисунке 3 представлены результаты моделирования синограмм для параллельного пучка (а) и синограмм для геометрии веерного пучка (б). Для проверки достоверности смоделированных данных восстановленные изображения были вычтены из исходного тестового изображения.

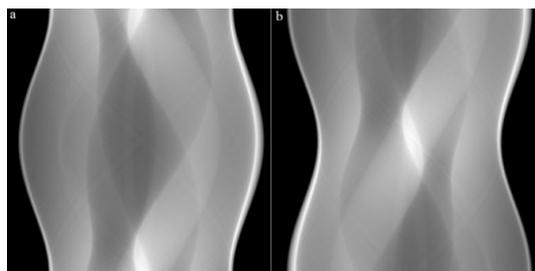


Рис. 3 – Синограмма для параллельной геометрии пучка (а), синограмма для веерного пучка (б)

На рисунке 4 показаны результаты реконструкции в сравнении с тестовым изображением. Нулевая разница между первоначальным тестовым изображением и изображением, восстанавливаемым из моделируемых данных указывает на то, что подход моделирования работает правильно.



Рис. 4 – Фантомное изображение (а), изображение, восстановленное из параллельной геометрии пучка (б), изображение, восстановленное из геометрии веерного пучка (с)

Выводы. Предлагаемый подход моделирования дает возможность работать с алгоритмами рентгеновской реконструкции, тестировать новые подходы к реконструкции на смоделированных данных. Это простой и гибкий способ для проведения теоретических исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного задания «Наука» в рамках научного проекта № 11.6342.2017/БЧ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Троицкий И.Н., Статистическая теория томографии. - М.: Радио и связь, 1989. - 82с.
- 2 Gonzalez R.C., Woods R.E., Digital Image Processing, third ed., Pearson, 2007
- 3 Herman G.T., Fundamentals of Computerized Tomography: Image Reconstruction from Projections, 2009. - p. 12