

Анализ траектории калибровочного объекта в процессе томографического сканирования

Станислав Воронцов

Научный руководитель: Полевой Дмитрий Валерьевич

Инновационный практикум, 25 Марта 2025

- Промышленная диагностика

Применения томографии

- Промышленная диагностика
- Медицина

- Промышленная диагностика
- Медицина
- Археология

- **Промышленная диагностика**
- Медицина
- Археология
- Инженерия

Общие принципы томографии

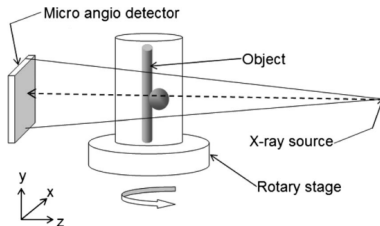


Рис.: Схема томографической установки.¹ Источник: [1]

- Получение снимков - исследуемый объект или источник и детектор поворачиваются на небольшие углы, результат фиксируется. Получается послойное изображение объёмного объекта

¹Мы работаем с установкой с конической схемой распространения лучей.

Общие принципы томографии

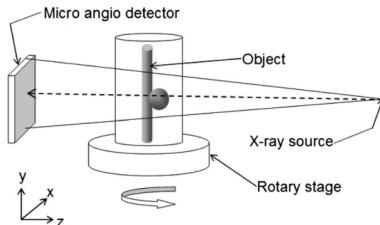


Рис.: Схема томографической установки.¹ Источник: [1]

- Получение снимков - исследуемый объект или источник и детектор поворачиваются на небольшие углы, результат фиксируется. Получается послойное изображение объёмного объекта
- **Коррекция снимков** (учёт геометрии установки)

¹Мы работаем с установкой с конической схемой распространения лучей.

Общие принципы томографии

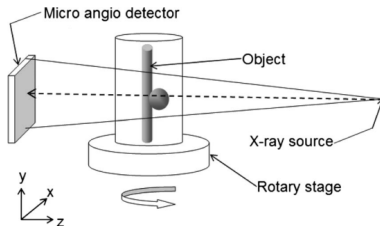


Рис.: Схема томографической установки.¹ Источник: [1]

- Получение снимков - исследуемый объект или источник и детектор поворачиваются на небольшие углы, результат фиксируется. Получается послойное изображение объёмного объекта
- **Коррекция снимков** (учёт геометрии установки)
- Реконструкция объёмной внутренней структуры объекта (алгоритм Фельдкампа и производные от него)

¹Мы работаем с установкой с конической схемой распространения лучей.

Проблема. Геометрия установки

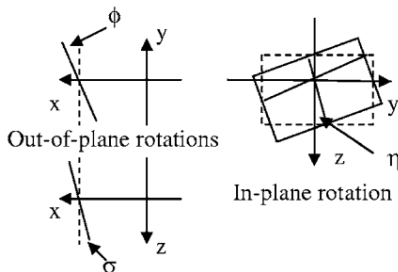


Рис.: Отклонение детектора относительно оси вращения. Источник: [2]

В реальности ось вращения² может не лежать в плоскости детектора перпендикулярно платформе. Она имеет отклонения.

²На картинке показаны направления отклонения детектора. Очевидно, это математически эквивалентно отклонению оси

Проблема. Геометрия установки

Положение источника, расстояния от него до экрана и оси, отклонения оси в общем случае проблематично определить с высокой точностью. При этом качество реконструкции напрямую зависит от этих величин.

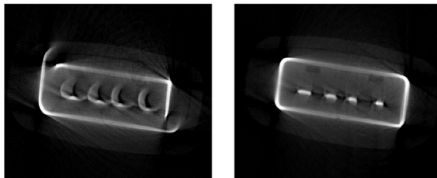


Рис.: Изображение до и после устранения артефактов. Объект - USB-флеш-накопитель. Источник: [2]

В следствие неучтённых особенностей геометрии снимки искажаются **артефактами** (Полосы, размытия, двоения)

Восстановление положения оси с помощью фантома

Фантом - объект с хорошо известной геометрией.

Восстановление положения оси с помощью фантома

Фантом - объект с хорошо известной геометрией.

Наиболее простым примером является Ball-Bearing phantom, который и используется в нашей работе

Ball-Bearing phantom

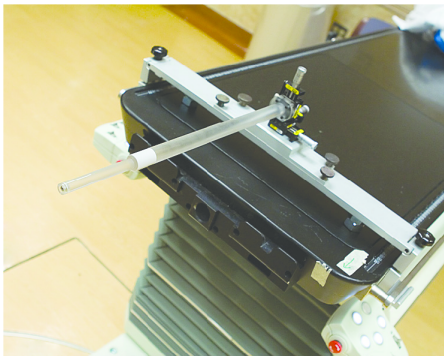


Рис.: Ball-Bearing phantom Источник: [3]

Ball-Bearing phantom (ВВ фантом) - Фантом состоит из небольших шариков (около 3 мм диаметром) расположенных на фиксированном расстоянии друг от друга на одной оси.

Постановка задачи

По набору снимков ВВ-фантома определить следующие геометрические параметры установки:

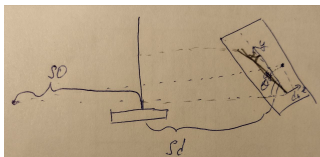


Рис.: Схема установки

- Расстояние от источника до оси вращения установки (SO)

Постановка задачи

По набору снимков ВВ-фантома определить следующие геометрические параметры установки:

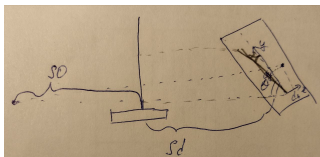


Рис.: Схема установки

- Расстояние от источника до оси вращения установки (SO)
- Расстояние от оси до экрана (SD)

Постановка задачи

По набору снимков ВВ-фантома определить следующие геометрические параметры установки:

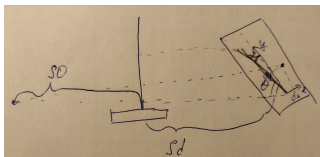


Рис.: Схема установки

- Расстояние от источника до оси вращения установки (S_0)
- Расстояние от оси до экрана (S_d)
- Положение точки пересечения оптической оси с детектором (dx , dy)

Постановка задачи

По набору снимков ВВ-фантома определить следующие геометрические параметры установки:

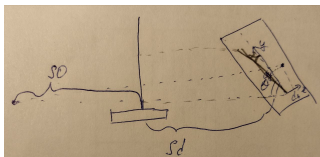


Рис.: Схема установки

- Расстояние от источника до оси вращения установки (SO)
- Расстояние от оси до экрана (SD)
- Положение точки пересечения оптической оси с детектором (dx , dy)
- Углы наклона детектора:
 - В плоскости, перпендикулярной плоскости детектора (θ)

Постановка задачи

По набору снимков ВВ-фантома определить следующие геометрические параметры установки:

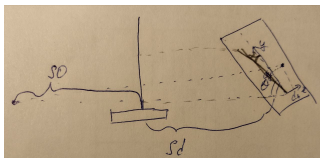


Рис.: Схема установки

- Расстояние от источника до оси вращения установки (SO)
- Расстояние от оси до экрана (SD)
- Положение точки пересечения оптической оси с детектором (dx , dy)
- Углы наклона детектора:
 - В плоскости, перпендикулярной плоскости детектора (θ)
 - В плоскости самого детектора (α)

Постановка задачи. Томограф

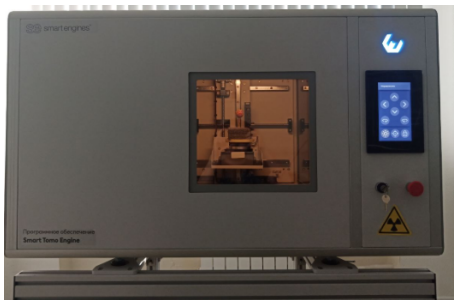


Рис.: Микротомограф Элтех-Мед

Характеристики:

- Размеры детектора: 40 см × 40 см
- Размер пикселя: 139 мкм
- Предельное объёмное разрешение 25 мкм

- Съемка кадров
- Определение положения шариков на проекциях
- **Поиск параметров геометрии**
- Валидация в томографическом эксперименте найденных параметров

Подходящие идеи предложены в [2] Поскольку шары движутся по круговым траекториям, которые в идеальном случае проецируются на детектор как эллипсы, предлагается провести нелинейную аппроксимацию координатных функций ($\cos(wt)$ по x и $\sin(wt)$ по y) с поправками на отклонение от указанных законов вследствие параметров геометрии (откуда и определить указанные параметры)

- [1] V. Patel, R. N. Chityala, K. R. Hoffmann, C. N. Ionita, D. R. Bednarek и S. Rudin, "Self-calibration of a cone-beam micro-CT system," *Medical Physics*, т. 36, № 1, с. 48—58, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1118/1.3026615>. eprint: <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1118/1.3026615>. url: <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1118/1.3026615>.
- [2] K. Yang, A. L. C. Kwan, D. F. Miller и J. M. Boone, "A geometric calibration method for cone beam CT systems," *Medical Physics*, т. 33, № 6Part1, с. 1695—1706, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1118/1.2198187>. eprint: <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1118/1.2198187>. url: <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1118/1.2198187>.
- [3] J. Lehmann, J. Perks, S. Semon, R. Harse и J. Purdy, "Commissioning experience with cone beam CT for image guided radiation therapy," *Journal of Applied Clinical Medical Physics - J APPL CLIN MED PHYS*, т. 8, авг. 2007. DOI: 10.1120/jacmp.v8i3.2354.