

аспирантов и молодых ученых: в 3 т., Томск, 14-18 Апреля 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - Т. 1 - С. 95-96.

5. Buhr E, Günther-Kohfahl S and Neitzel U 2003 Simple method for modulation transfer function determination of digital imaging detectors from edge images *Physics of Medical Imaging SPIE* 5030 877–84
6. Samei E, Flynn M J and Reimann D A A 1998 method for measuring the presampled mtf of digital radiographic systems using an edge test device *Med. Phys.* 25 102-13

ПРОБЛЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ В ОБЪЕМНОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ

Мамырбаев Т. А., Батрагин А. В., Ивашков Д. В.
Томский политехнический университет

Введение

Рентгеновская компьютерная томография (КТ) является неразрушающим методом визуализации внутренней структуры твердых объектов. КТ используется для исследования и контроля различных материалов, таких как горные породы, керамика, металлы.

Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом является основой КТ метода. Рентгеновские лучи после прохождения через объект ослабляются по закону Бира для комплексных материалов, данное ослабленное излучение регистрируется детектором. В КТ набор теневых проекций объекта получают с разных углов. Затем набор проекций реконструируют и получают объемное распределение коэффициентов ослабления. Для томографической реконструкции используются различные математические алгоритмы и программные обеспечения на их основе. Целью специального программного обеспечения является не только реконструкция, но так же уменьшение артефактов и основных операций визуализации, которые необходимы для дальнейшей обработки, таких как: сегментация и количественный анализ [1, 2]. Само распределение коэффициентов ослабления имеет ограниченный практический смысл. Как правило, полученные томографические данные подвергаются сегментации. Эта операция преобразует полутоновые изображения в бинарные при определенном пороговом значении, выбранном вручную или с помощью некоторого алгоритма. На этой стадии встречаются неизбежные трудности, вызванные нелинейностью и сложностью процесса взаимодействия излучения с веществом. После сегментации наиболее распространенной процедурой является количественный анализ, который позволяет анализировать отдельные бинарные объекты, полученные в результате сегментации.

Материалы и методы

В институте неразрушающего контроля, который является частью Томского политехнического университета, был разработан высокоэнергетический рентгеновский томограф. Исследовательская группа опубликовала свои первые успешные результаты в области сборки и тестирования томографов [3, 4].

Основными компонентами рассматриваемой системы являются детектор рентгеновского излучения на основе сцинтиллятора, рентгеновский аппарат и поворотный механизм. В томографе используется рентгеновский аппарат MXR-451HP (производства Comet, Швейцария) в качестве источника излучения. Напряжение рентгеновской трубки изменяется в диапазоне 20-450 кВ, размер фокусного пятна трубки может быть 0,4 или 1 мм в зависимости от выбранного режима. Рентгеновский детектор – плоскочастотный детектор XRD 1622 (производства Perkin Elmer, США), имеющий 2048×2048 детектирующих элементов – пикселей. Шаг пикселей составляет 200 мкм. Сцинтиллятор

изготовлен из кристаллов CsI. Поворотный механизм предусматривает плавное вращение с шагом до 0,01 градусов и линейное перемещение образца между детектором и рентгеновским аппаратом, что позволяет изменять проекционное увеличение и, таким образом, размер вокселя – объемного пикселя.

В качестве тест-объекта была использована гравийная смесь. Она характеризуется большой неоднородностью. Отдельные фрагменты смеси имеют различную форму, размеры, структуру и плотность. Поверхность контакта отдельных фрагментов между собой достаточно сложна. Основной целью данной работы была демонстрация процедуры сегментации и трудностей проведения данной операции на сложном объекте.

Параметры томографического сканирования были следующие: ускоряющее напряжение – 100 кВ, анодный ток – 3 мА, шаг поворота объекта – 0,5°, время экспозиции одной проекции – 1 с. Размер вокселя составил 101×101×101 мкм. Всего было получено 720 теневых проекций. Время сканирования составило около 45 минут. Кроме того, был использован медный фильтр толщиной 0,2 мм для подавления низкоэнергетической составляющей спектра тормозного излучения для уменьшения артефактов от ужесточения пучка.

Томография включает три основных этапа: сбор данных (теневых проекций), реконструкция и сегментация с помощью специального программного обеспечения [5]. Результаты, полученные на каждом шаге, представлены на рис. 1.

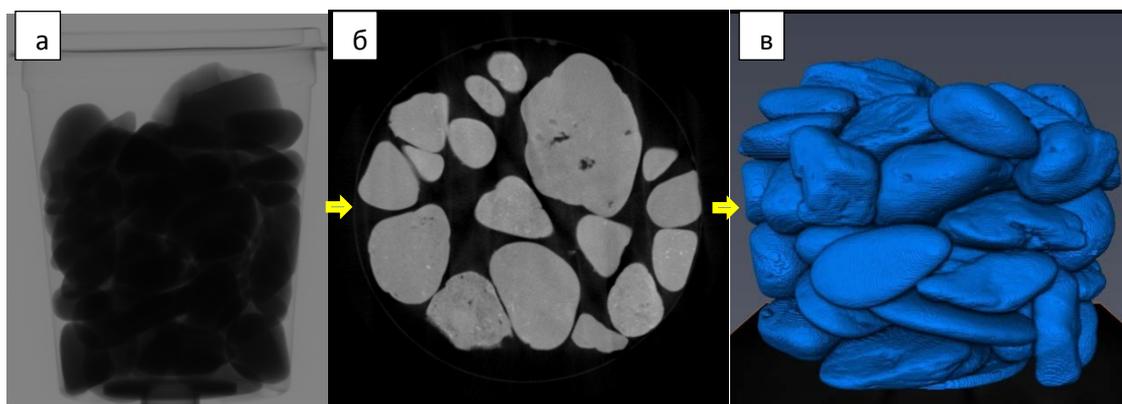


Рис. 1. Три основных этапа КТ: а) сбор теневых проекций; б) реконструкция томографических срезов; в) сегментация бинарных объектов

Томографическая реконструкция исследованных фрагментов породы была выполнена с помощью программного обеспечения Nreson, разработанной компанией Bruker microCT [6]. Для повышения качества изображений были использованы коррекция ужесточения пучка и снижение кольцевых артефактов [7]. В результате, был получен набор 8-битных полутоновых изображений.

Результаты

Сегментация и визуализация изображений была выполнена с помощью программного обеспечения VSG Авиго 9 [8]. Морфологические операции обработки и сегментации изображений, использованные в данной работе: удаление шумов (despeckle), сегментация (thresholding), утолщение (dilation), разделение (separation), маркировка (labeling), анализ маркированных объектов (label analysis) и отрисовка в объеме (volume rendering). Инструмент «удаление шумов» был использован для удаления «битых» («мертвых») пикселей и шумов изображений. Размер удаленных пикселей 300 мкм. Глобальное значение порога сегментации было использовано для создания бинарных изображений из полутоновых. К бинарным изображениям применялось «утолщение». Обработанные таким образом изображения разделялись с помощью сегментации по

принципу «водораздела» (watershed). Сочетание этих морфологических операций привело к разделению всех фрагментов породы на отдельные объекты, что позволило проводить дальнейший количественный анализ. Рис. 2 показывает разницу между несегментированным и сегментированным изображением в плоскости томографического среза.



Рис.2. Сравнение изображений: несегментированное изображение (слева), сегментированное и маркированное цветом изображение (справа)

На несегментированных изображениях граница между фрагментами породы отсутствует. В результате все фрагменты породы определяются программой как один объект. Напротив, сегментированное изображение дает реальный результат: число объектов соответствует фактическому числу фрагментов, содержащихся в гравийной смеси.

Для наглядного визуального представления сегментированных фрагментов породы была применена цветовая маркировка. Фрагменты породы были разделены в соответствии с их объемом. Определенному диапазону объемов соответствует определенный цвет, как показано на рис. 3.

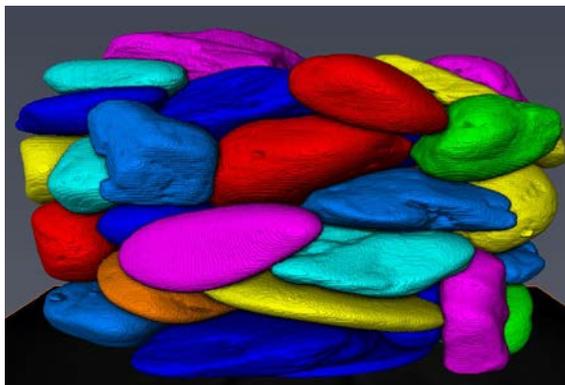


Рис. 3. Различные фрагменты породы выделены разными цветами

После сегментации и получения верного числа фрагментов породы возможно проведение корректного количественного анализа. В качестве примера было построено распределение фрагментов породы в зависимости от их физического объема. Значения объемов были организованы в 10 групп и представлены в виде гистограммы (рис. 4).

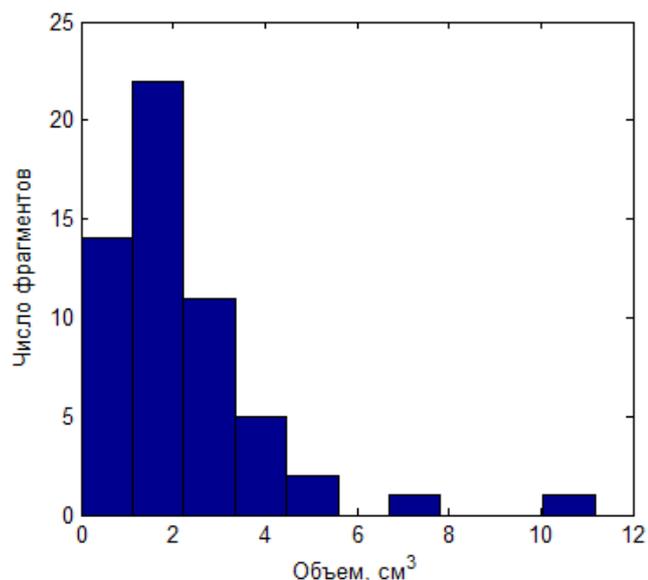


Рис. 4. Распределение объема фрагментов горной породы

Кроме распределения объема можно оценить объем объектов в процентах к области интереса, определенной, например, как пространство внутри контейнера, куда помещены объекты. Возможно определение пространственной ориентации фрагментов и ряд других измерений. Иными словами, сегментирование томографических данных открывает много вариантов количественного анализа в зависимости от поставленных задач.

Заключение

КТ является мощным средством для исследования внутренней структуры объектов. В этой статье мы представили процесс обработки и анализа томографических изображений на примере гравийной смеси. Показаны основные этапы томографического исследования: сбор теневых проекций, реконструкция, сегментация. Особое внимание уделено процессу сегментации томографических данных. Результаты были получены на высокоэнергетическом томографе собственной конструкции. В процессе реконструкции томографических срезов были применены корректировки ужесточения пучка и кольцевых артефактов для улучшения качества изображений. Томографические данные были подвергнуты многоэтапной сегментации для корректного цифрового представления тест-объекта. Критерием корректности было соответствие числа цифровых объектов числу реальных фрагментов породы. После корректной сегментации было построено распределение фрагментов в зависимости от их объема. Успешное исследование такого неоднородного объекта как гравийная смесь, позволяет надеяться, что данный подход применим для количественного анализа пористых и негомогенных материалов, например, композитов.

Благодарность

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного задания в сфере научной деятельности.

Список использованных источников

1. J. Kaczmarczyk et al. The interpretation of X-ray Computed Microtomography images of rocks as an application of volume image processing and analysis //WSCG Communication Papers– 2010. – P. 23-30.

2. Elke Van de Castele et al. X-ray microtomography as a non-destructive tool for stone characterization in a conservation study //4th international conference on NDT –Crete, Greece, 2010
3. A.V. Batranin, S.V. Chakhlov, D.V. Grinev, B.I. Kapranov, V.A. Klimenov Design of the X-Ray Micro-CT Scanner TOLMI-150-10 and its Perspective Application in Non-Destructive Evaluation //Applied Mechanics and Materials. 2013, 379, P. 3-10.
4. A. Batranin, D. Ivashkov, S. Stuchebrov Performance Evaluation of Micro-CT Scanners as Visualization Systems //Advanced Materials Research. 2015, 1084, P. 694-697.
5. D.R. Baker An introduction to the application of X-ray microtomography to the three-dimensional study of igneous rocks //Elsevier –Lithos 148. – 2012. – P. 262-276
6. Bruker microCT home page, available on: <http://bruker-microct.com/home.htm>
7. R.A. Ketcham, W. D. Carlson Acquisition, optimization and interpretation of X-ray computed tomographic imagery: applications to the geosciences //Computers & Geosciences. 2001, 27(4), P. 381-400.
8. P. Westenberger et al. Fiber Orientation Visualization with Avizo Fire //Conference on Industrial Computed Tomography (ICT) – Wels, Austria, 2012.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

Овчинников А.Л., Лапишин Б.М.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Введение

В последнее время основные исследования в области акустического течеискания были направлены на решение, задач связанных с исследованием характеристик акустического тракта распространения сигнала, главным образом с исследованием модовой структуры поля, а также задач направленных на повышение точности локализации. Так в [1–3] проведены теоретические исследования распространения волноводных мод в подземных трубопроводах перекачивающих жидкость, рассчитаны спектры фазовых скоростей и распределение энергии по модам в трубопроводе. Полученные в [3] теоретические результаты распространения сигналов АЭ в пластиковых трубах экспериментально подтверждены в работе [4]. Для эффективного выделения сигналов АЭ из помех в работе [5] предложен алгоритм использования Wavelet преобразования. В [6–8] рассмотрены различные способы повышения точности локализации утечки с использованием метода взаимной корреляции.

Целью настоящей работы является исследование распространения низкочастотных акустических сигналов в трубах с жидкостью и оценка ослабления сигнала. Данные исследования представляют определенный интерес и для разработки аппаратуры дальнего обнаружения внутритрубных объектов перемещаемых с потоком перекачиваемой жидкости.

В опубликованных к настоящему времени работах по исследованию ослабления звука в трубах ограничиваются рассмотрением затухания в области частот от 10 до 100 кГц. Из [9] известно, что для большинства жидкостей в широком диапазоне изменения частот имеет место квадратичная зависимость коэффициента затухания звука от частоты. С другой стороны по данным работы [10] коэффициенты затухания, измеренные на реальном нефтепроводе в диапазоне частот 10-50 кГц достаточно точно аппроксимируются линейными зависимостями. Полученные в [10] значения значительно превосходят теоретически рассчитанные коэффициенты ослабления, вызванные наличием вязкости и теплопроводности и трением жидкости о стенку трубы.

В [1] на основе численного решения уравнений гидродинамики, и динамической теории упругости для трехслойной среды: перекачиваемая жидкость – стенка