

Санкт-Петербургский государственный университет
Математическое обеспечение и администрирование
информационных систем

Тонких Артем Андреевич

Разработка системы расчета
характеристик объектов
по данным УЗИ – томографии

Отчёт по производственной практике (научно-исследовательской
работе)

Научный руководитель
д.ф.-м.н., профессор, О.Н.Граничин

Санкт-Петербург
2022

Оглавление

| | |
|-------------------------------|---|
| Введение | 2 |
| Постановка задачи | 2 |
| Обзор решений | 3 |
| Основные результаты | 4 |
| Заключение | 7 |
| Список литературы | 8 |

Введение

Ультразвуковое исследование (УЗИ) — один из известных методов медицинского обследования. Этот метод намного быстрее других, так как можно получить результат в этот же день у врача. Также такая диагностика дешевле по сравнению с другими. Самым известным применением УЗИ является обследование беременных женщин. Но УЗИ принимается и по другому назначению. Сейчас можно наблюдать как УЗИ начинает применяться в другой сфере медицины: диагностирование рака молочной железы на ранних стадиях.

К сожалению, разработок, способных диагностировать опухоли до 2 мм, нет в открытом доступе. Поэтому решено сделать собственную реализацию. Это позволит врачам и пациентам экономить ресурсы и быстро назначать лечение.

Работа совершается в сотрудничестве с Китайской Ультразвуковой Лабораторией.

В задаче требуется найти такое поле скорости звука в исследуемой области, которое как можно лучше приближает экспериментальные и расчётные данные. Поиск распределения включает такие этапы: с текущим полем скорости звука решается волновое уравнение для неоднородной среды; после решения уравнения извлекаются диаграммы сигналов, полученные на датчиках (приемниках); минимизируется функционал ошибки, который представляет разницу экспериментальных данных и расчётных. Минимизация функционала осуществляется методом Левенберга — Марквардта, применяющийся для метода наименьших квадратов.

Постановка задачи

Цель работы: разработать систему, определяющую распределение скоростей звука в исследуемой области путём минимизации функционала ошибки.

Задачи работы:

- обзор существующих решений;

- реализовать алгоритм моделирования распространений ультразвуковых лучей в исследуемой области;
- добавить распараллеливание, чтобы ускорить расчёты;
- реализовать метод Левенберга — Марквардта;
- минимизировать разницу между экспериментальными данными и расчётом.

Обзор решений

Для моделирования и визуализации применяются разные виды моделирования сигналов: использование отраженного сигнала, использование сквозного сигнала, использование затухания сигнала. Далее применяются только сквозные и отражённые сигналы.

Сквозные и отражённые сигналы применяются в работах, например, [1] и [3]. В работе [1] использовались сквозные и отраженные сигналы, но в ней проводился поиск распределения скорости звука с уже известным расположением интересующих областей. В работе [3] решалась нелинейная система уравнений эйконала, но такой подход существенно замедляет поиск распределения, так как в нем используется моделирование каждого луча по отдельности.

В данной работе предлагается изменить подход: разбить всю область на ячейки, в каждой ячейке будет своя собственная скорость звука. Далее, испуская сигнал, в каждый момент времени будет решаться волновое уравнение для неоднородной среды:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \operatorname{div} (c^2(x, y) \cdot \nabla u) ,$$

по нему определяется волновое поле в каждый момент времени. Решение уравнения реализовано численной схемой, описанной в [2].

Вся исследуемая область разбивается равномерной сеткой 1000×1000 . Для начала полагаем, что скорость звука равномерно распреде-

лена в области со значением 1200 м/с. После определения диаграмм сигналов $\hat{Y}_{ij}(c_1, \dots, c_{1000000})$, минимизируется функционал ошибки:

$$F(c_1, \dots, c_{1000000}) = \sum_{i,j=1}^N \left\| \hat{Y}_{ij}(c_1, \dots, c_{1000000}) - Y_{ij} \right\|^2,$$

где Y_{ij} — экспериментальная диаграмма сигнала от источника i к приёмнику j , N — количество приемников (датчиков). Этот функционал будет минимизироваться методом Левенберга — Марквардта, который будет подбирать более оптимальные скорости звука в рассматриваемой области. Этот метод решено реализовать самим с дальнейшим модифицированием, так как при таком колоссальном количестве параметров (1000000) готовая реализация может просто не справиться. Например в среде Matlab, даже с 20 параметрами этот метод не всегда справляется. Имеется идея модификации метода: использовать приближенное вычисление градиента, которое применяется в методе SPSA.

Основным языком программирования для реализации вышеописанного алгоритма выбран Python. Для ускорения вычислений решено использовать библиотеку Pytorch, так как с её помощью можно составить матричный алгоритм с использованием ядер CUDA видеокарт Nvidia.

Основные результаты

На данный момент реализован вышеописанный алгоритм, проведены модельные расчеты по экспериментальным данным в воде. На рисунке 1 представлена 3 итерация метода Левенберга — Марквардта при сетке 40×40 и 16 датчиках.

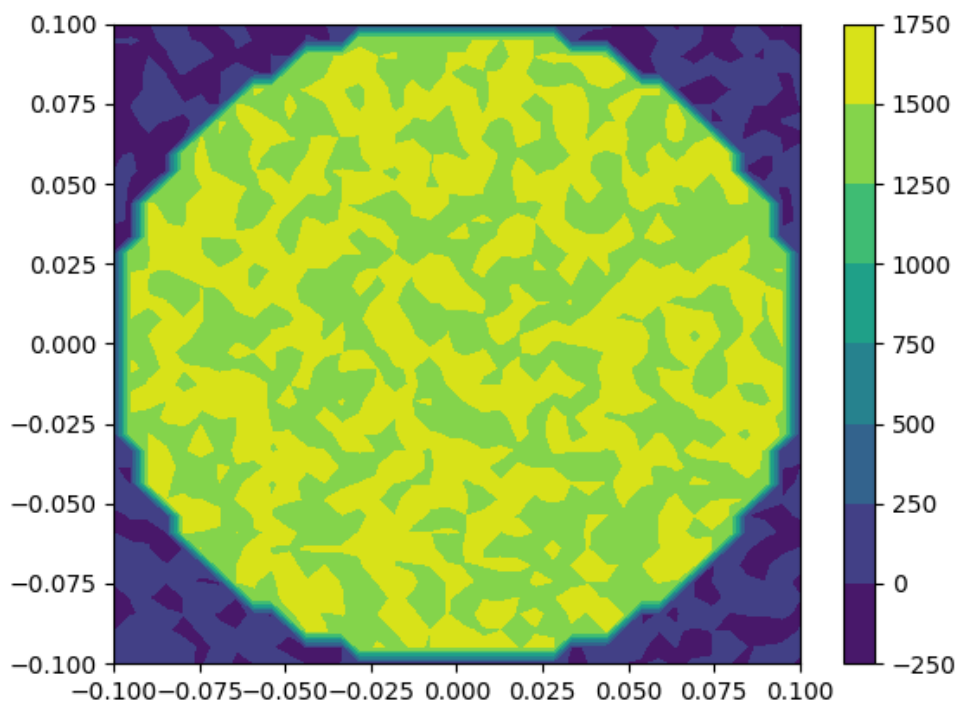


Рис. 1: Распределение скорости звука, итерация 3

На рисунках 2 и 3 при той же сетке представлены 8 и 10 итерации метода соответственно.

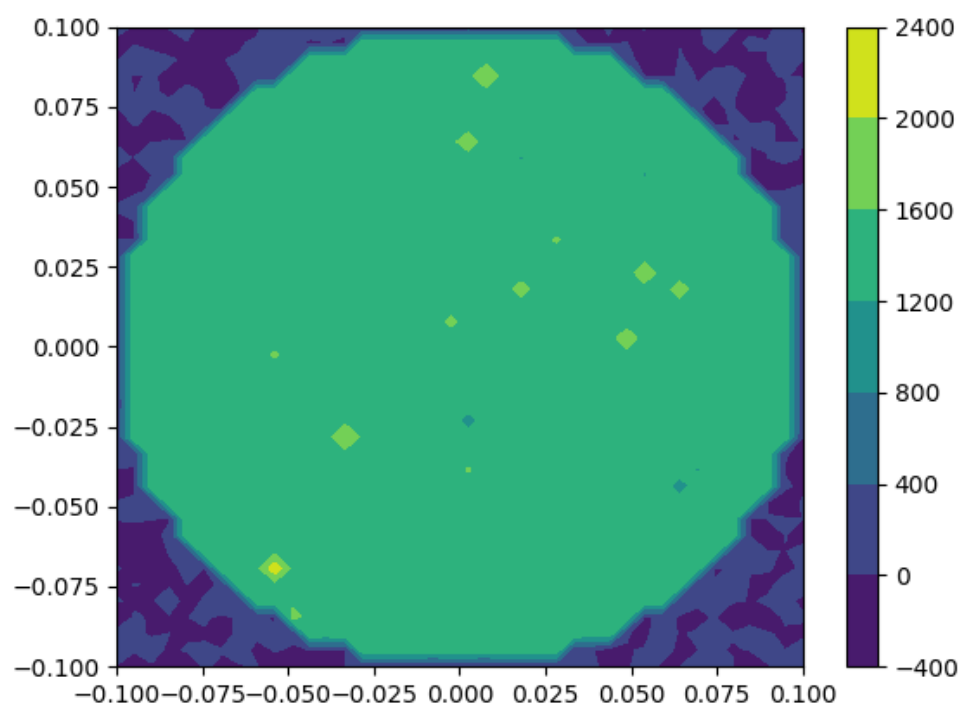


Рис. 2: Распределение скорости звука, итерация 8

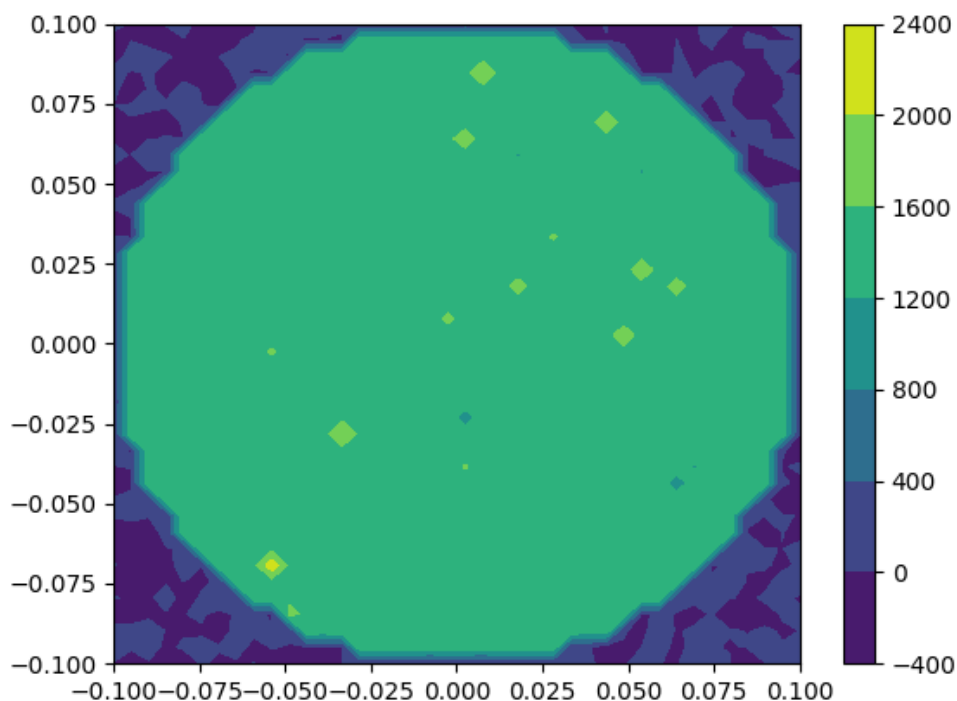


Рис. 3: Распределение скорости звука, итерация 10

В перспективе планируется провести расчёт для 2048 датчиков и при сетке 1000×1000 , что неминуемо потребует работы по экономии памяти, так как количество данных колоссальное: каждый из 2048 датчиков испускает сигнал, все остальные датчики принимают его, что в общей мере даёт 2048×2048 диаграмм сигналов.

Заключение

Как можно видеть на рисунках выше, распределение скорости звука приходит к почти равномерному значению 1200 м/с, что соответствует водной среде. В дальнейшем будет проводиться работа по экономии памяти для повышения размерности (увеличение количества параметров) и проведение новых модельных расчетов.

Список литературы

- [1] Леонова А.В. Система для расчета скоростей звука в особых областях по данным УЗИ – томографии. Санкт-Петербург, 2020
- [2] Böhme C., Holmberg A., Nilsson Lind M. Numerical Analysis of the Two Dimensional Wave Equation: Using Weighted Finite Differences for Homogeneous and Hetrogeneous Media. – 2020.
- [3] Jovanovic I. Inverse problems in acoustic tomography. EPFL, 2008. – №4165
- [4] Li C. et al. In vivo breast sound-speed imaging with ultrasound tomography //Ultrasound in medicine biology. – 2009. – Т. 35. – №. 10. – С. 1615-1628.
- [5] Matthews T. P. et al. Regularized dual averaging image reconstruction for full-wave ultrasound computed tomography //IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control. – 2017. – Т. 64. – №. 5. – С. 811-825.
- [6] Roy O. et al. Robust array calibration using time delays with application to ultrasound tomography //Medical Imaging 2011: Ultrasonic Imaging, Tomography, and Therapy. – International Society for Optics and Photonics, 2011. – Т. 7968. – С. 796806