

DOI: 10.18721/JCSTCS.11404
УДК 519.63-688; 534-8, 534.222

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДОМ ВОЛНОВОЙ ИНВЕРСИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ ВЫЧИСЛЕНИЙ

К.А. Верещагин, И.Н. Белых

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Активно развивающееся направление ультразвуковой томографии требует разработки эффективных подходов решения прямых и обратных задач для волнового уравнения как на теоретическом, так и на прикладном уровне. В статье изучены методы, применяемые для решения задач реконструкции изображений из волнового поля, и предложен оригинальный алгоритм построения двухмерных срезов ультразвуковых изображений. Для акустически неоднородной модели упругой среды проведено решение прямой задачи для волнового уравнения в двухмерной постановке с учетом поглощения с целью получения полного поля отраженных волн. Представлен оптимизационный алгоритм 2D-волновой инверсии ультразвукового поля для решения обратной задачи во временной области. Приведены основные архитектурные элементы программного решения, рассмотрены способы распараллеливания вычислений для повышения производительности процесса моделирования. Обсуждены результаты тестирования и проверки на корректность различных этапов алгоритма. Достоинствами предложенного подхода являются точность и устойчивость решения при повышенной вычислительной производительности.

Ключевые слова: волновое уравнение, отраженные волны, волновая инверсия, оптимизация, параллельные вычисления, ультразвуковая томография.

Ссылка при цитировании: Верещагин К.А., Белых И.Н. Решение задачи построения ультразвуковых изображений методом волновой инверсии с использованием алгоритмов распараллеливания вычислений // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2018. Т. 11. № 4. С. 49–62. DOI: 10.18721/JCSTCS.11404

ULTRASOUND IMAGE RECONSTRUCTION BASED ON WAVEFORM INVERSION METHOD USING PARALLEL CALCULATION ALGORITHMS

K.A. Vereshchagin, I.N. Belykh

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russian Federation

Ultrasound tomography is actively developing area that requires effective research and development efforts in forward and inverse problems solution for wave equation. In this work different methods of image reconstruction from elastic wave field are

investigated and original algorithm for two-dimensional ultrasound imaging is suggested. Full reflection wave field including absorption was modeled by means of forward problem for 2-D acoustic wave equation solution for inhomogeneous elastic media. Invers problem is solved by optimization algorithm for two-dimensional full waveform inversion of reflection wave field. The main features of the software application design are described, using parallel calculation techniques for the modeling process efficiency improvement. The testing results are discussed and algorithm steps are validated for correctness. The advantages of the proposed approach are accuracy and stability of the solution with improved computational efficiency.

Keywords: wave equation, reflection waves, waveform inversion, optimization, parallel calculations, ultrasound tomography.

Citation: Vereshchagin K.A., Belykh I.N. Ultrasound image reconstruction based on waveform inversion method using parallel calculation algorithms. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunications and Control Systems, 2018, Vol. 11, No. 4, Pp. 49–62. DOI: 10.18721/JCSTCS.11404

Введение

Ультразвуковые исследования (УЗИ) широко используются в медицине и неразрушающем контроле для дистанционного определения внутренней структуры изучаемых объектов. В настоящее время активно развиваются различные подходы к ультразвуковой томографии (УЗТ), являющейся, в отличие от компьютерной (КТ) и магниторезонансной (МРТ) томографии, не инвазивным методом, позволяющим обследовать целевые объекты в трехмерном пространстве. Подходы УЗТ различаются по типам используемых волн – отраженных или проходящих, что достигается различной геометрией расположения источников и приемников ультразвуковых (УЗ) колебаний, а также методами реконструкции пространственных изображений из зарегистрированного волнового поля. В одном из развитых подходов трансмиссионной УЗТ на проходящих волнах [4] исследуемый объект располагается между источниками и приемниками, лежащими в одной плоскости, которая пошагово перемещается в перпендикулярном направлении. Такая геометрия расстановки датчиков накладывает ограничения на размер объекта.

В настоящей статье рассматривается алгоритм получения изображения трехмерной модельной среды, содержащей несколько объектов с различными акустическими свойствами, путем регистрации на ее поверхности отраженного волнового поля линейкой трансдюсеров и получения

наборов двухмерных срезов при ее перемещении в направлении перпендикулярном линии датчиков.

При распространении волн в гетерогенных упругих средах происходят различные эффекты, искажающие волновое поле. Это многократные отражения волн от границ раздела сред, рассеивание и затухание энергии в различных материалах, а также эффект дифракции волн на неоднородностях. В результате решения обратной задачи УЗТ эти эффекты минимизируются с целью получения итогового пространственного изображения внутренней структуры исследуемого объекта.

Большой практический интерес представляет эффективное решение обратной задачи в двухмерной постановке для отраженных волн при расположении линейки трансдюсеров на поверхности исследуемой среды с возможностью ее перемещения. Такая схема наблюдения не накладывает ограничений на размер объекта, являясь промежуточным этапом УЗТ, путем построения высокоразрешающих объемных УЗ-изображений набором двухмерных срезов.

В теоретических работах по сейсморазведке развито множество методов решения обратной задачи, идея большинства из которых заключалась в упрощении физической картины рассматриваемого явления распространения волн и использования [8] алгоритмов корректировки возникающих эффектов реверберации, дифракции и поглощения.