

Рецензия на статью: Recovering 3d density in the hyperbolic system of acoustic equations of the first order by a finite number of observations,

авторов: D. V. Klyuchinskiy, N. S. Novikov, M. A. Shishlenin,

представленной для публикации в журнале: Сибирский журнал индустриальной математики.

Представленная работа посвящена решению коэффициентной обратной задачи для уравнений акустики первого порядка.

Как правило, в обратных задачах акустики рассматриваются дифференциальные уравнения второго порядка – волновое уравнение или его аналог в частотной области – уравнение Гельмгольца. Однако, эти уравнения получаются с использованием ряда приближений, например, предполагается потенциальность акустического поля. Исходными же являются линеаризованные уравнения гидродинамики – уравнения первого порядка – уравнение Эйлера, уравнение непрерывности.

Развитие методов решения обратных задач для уравнений первого порядка представляет бесспорный интерес, т.к. не только дает более полное решение, но и позволяет, по крайней мере теоретически, перейти к решению обратных задач для дважды отрицательных сред (double negative media).

Решение рассматриваемой авторами обратной задачи, сводится к минимизации целевого функционала методом простой итерации. Для решения прямой и сопряженной задачи была реализована схема Годунова первого порядка аппроксимации. Получены формулы вычисления градиента функционала невязки через решение соответствующей прямой и сопряженной задачи.

В качестве примера численного моделирования авторы демонстрируют результаты восстановления трехмерного распределения плотности среды в задаче с параметрами, близкими к медицинскому ультразвуковому эксперименту. Восстановление возмущений плотности среды является актуальной задачей, востребованной на этапе ранней диагностики раковых опухолей в мягких биологических тканях.

Результаты численного моделирования указывают на работоспособность рассматриваемого метода. К его ограничениям можно отнести высокие требования на вычислительные ресурсы, что вызвано трехмерностью рассматриваемой обратной задачи и итерационной природой способа нахождения решения. Следует отметить и достаточно медленную сходимость итераций (см. рис. 6).

Среди вопросов и замечаний можно выделить следующие:

1. Рассматривается весьма упрощенная 3D постановка, в которой и область томографирования, и восстанавливаемые неоднородности, и приемопередающие излучатели имеют одинаковую цилиндрическую форму, причем равной высоты – см. рис. 2. Более наглядным и приближенным к реальности является ситуация, когда неоднородности «локализованы» внутри области томографирования, а по ее границе расположены «квазиточечные» источники-приемники.

Имеет смысл уточнить в тексте, ограничивает ли рассмотренная «цилиндрическая» постановка обратной задачи область применимости

- предложенного подхода, или это все же лишь частный случай и метод применим для произвольной 3D геометрии.
2. В общем случае в медицинской томографии неизвестными являются не только плотность, но и скорость, а также поглощение. Применим ли подход авторов для совместного восстановления, например, скорости и плотности? Дело в том, что в тексте упоминается о такой постановке:
«...we aim to recover, are the density of the medium, the speed of waves propagation and the coefficient of acoustic attenuation, or absorption coefficient...» (стр. 2),
«...The inverse problem, therefore, is to recover functions $c(x, y, z), \rho(x, y, z)$...» (стр. 3),
на рис. 1 исходная модель среды содержит неоднородности скорости звука. Однако никаких выводов и результатов о совместном восстановлении акустических параметров не приводится.
 3. В работе не говорится о помехоустойчивости рассматриваемого метода. Дело в том, что исходные данные (10) всегда известны с ошибкой, которая может составлять проценты и более, т.е. по порядку величины совпадать с точностью решения (рис. 6) или даже превышать ее.
 4. В списке литературы приведено 88 источников. Это излишне для 7 стр. текста. Не на все источники есть ссылки в тексте. Имеет смысл оставить лишь ключевые работы.
 5. В тексте встречаются неточности и опечатки. Например, нет ссылки на рис. 2, встречаются нечитаемые символы [??], используются обозначения, которые имеет смысл изменить. Часть из таких неточностей выделена цветом в прилагаемом файле. Имеет смысл вычитать текст еще раз.

Отмеченные замечания не снижают общую высокую оценку работы. Во многом, их можно отнести к перспективам дальнейших исследований. Получены новые результаты в актуальной области решения обратных задач акустического рассеяния. На мой взгляд, статья может быть опубликована после устранения отмеченных неточностей, без повторного отзыва.

С уважением,
рецензент.