

Суперкомпьютерные технологии для проектирования медицинских томографов



6 Суперкомпьютерные технологии для проектирования медицинских томографов

В настоящее время томографические исследования, такие как магнитно-резонансная и рентгеновская томография широко применяются в медицине. Современной тенденцией является сокращение лучевой нагрузки. В связи с этим актуальной задачей является разработка ультразвуковых томографических комплексов. Ультразвуковые томографы в первую очередь разрабатываются для дифференциальной диагностики рака молочной железы. Рак груди — каждый четвертый случай заболевания раком в популяции человека.

АВТОРЫ:

А.В. Гончарский – докт. физ.-мат. наук, профессор, зав. лаб. НИВЦ МГУ имени М.В.Ломоносова,
e-mail: gonchar@srcc.msu.ru

С.Ю. Романов – канд. физ.-мат. наук, вед. н. с. НИВЦ МГУ имени М.В.Ломоносова,
e-mail: romanov@srcc.msu.ru

Одной из основных задач современной медицины является дифференциальная диагностика доброкачественных и злокачественных образований. Регулярные обследования позволяют существенно снизить смертность от онкологических заболеваний. Современные медицинские исследования невозможно представить без томографических технологий. Наиболее широко распространена рентгеновская томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ). На рис. 1 приведен общий вид МРТ-томографа. МРТ позволяет получать детальную информацию о структуре головного мозга человека, визуализируя любое его сечение.

На рис. 2 приведены МРТ-изображения одного из авторов публикации. Даже без введения контрастных веществ МРТ-томографы позволяют выделять тонкую структуру кровеносной системы. Разрешение современных томографов составляет 1–2 мм.

Большие возможности имеет и рентгеновская томография (КТ). К недостаткам компьютерных томографов относится относительно высокая лучевая нагрузка, что ограничивает применение КТ для регулярных обследований. Современная медицина идет по пути снижения лучевой нагрузки. С этой точки зрения разработка ультразвуковых томографов высокого разрешения является перспективным направлением. В первую очередь ультразвуковые томографы



Рис. 1.
Общий вид МРТ-томографа

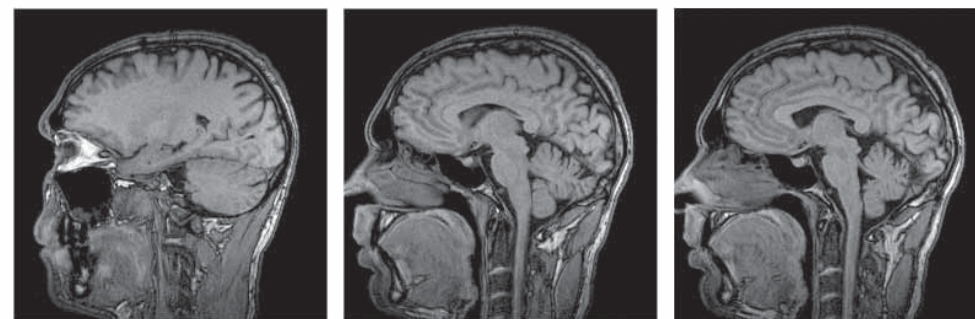


Рис. 2.
МРТ-изображения

должны решать задачу ранней диагностики рака молочной железы. Если в смертности мужчин первое место занимают сердечно-сосудистые заболевания, то у женщин — онкологические заболевания. Среди всех онкологических заболеваний рак молочной железы — наиболее частая причина смерти. Рак груди — каждый четвертый случай заболевания раком в популяции человека. Хотелось бы, чтобы регулярные обследования позволяли выявить заболевание раком на самой ранней стадии. К сожалению, в реальной жизни это не так. Более 40 тысяч женщин России ежегодно заболевают раком молочной железы. При этом доля лиц с поздними стадиями заболевания (III–IV) среди первичных больных недопустимо высока и составляет более 40%.

В настоящее время не существует промышленно выпускаемых УЗИ-томографов. Интенсивные исследования в этой области на лабораторном уровне проводятся в Германии, США, России.

Остановимся на основных проблемах современных разработок. Для ультразвуковых томографов необходимы новые источники и приемники (транзьюсеры) излучения со специальными характеристиками. Разработка таких транзьюсеров — безусловно, важная проблема. Однако основная проблема связана с необходимостью разработки эффективных методов решения обратных задач диагностики в рамках волновых моделей.

Если сравнивать рентгеновскую и ультразвуковую томографию, то с первой все существенно проще. Рентгеновское излучение уникально. Рентгеновский луч можно поглотить, но очень сложно изменить его траекторию. Это плохо для рентгеновской оптики и хорошо для рентгеновской томографии, которая допускает использование очень простой модели геометрической оптики. В рамках этой модели обратная задача в выделенном слое сводится к решению операторного уравнения Фредгольма 1 рода — линейной двумерной задачи. Время решения обратной задачи в слое на обычном персональном компьютере существенно меньше времени сбора данных в этом слое. Алгоритмы хорошо известны, существуют стандартные программы, реализующие эти алгоритмы.

В отличие от рентгеновской томографии, ультразвуковое излучение требует более сложных моделей для описания его распространения в среде. Важными физическими эффектами, которые должна описывать модель, являются эффекты дифракции, рефракции, переотражения и т.п.

Универсальной базовой моделью для описания колебаний (скалярная модель) является волновое уравнение:

$$c^2(r) u_{tt}(r,t) - \Delta u(r,t) = d(r-q) \cdot f(t) \quad (1)$$

при наличии определенных начальных и граничных условий. В уравнении (1) $c(r)$ — скорость волны в среде, $u(r,t)$ — волновое скалярное поле, Δ — оператор Лапласа по переменной r , источник располагается в точке q , генерируемый источником импульс описывается функцией $f(t)$. Обратная задача волновой диагностики состоит в том, что по измерениям $u(r,t)$ на границе некоторой области необходимо восстановить характеристики исследуемой среды $c(r)$. Обратная задача является нелинейной коэффициентной задачей для уравнения в частных производных. Решение такой задачи требует использования суперкомпьютеров. В настоящее время методы решения коэффициентных обратных задач типа (1) интенсивно разрабатываются. Эффективность алгоритмов иллюстрируется расчетом модельной задачи.

На рис. 3а приведен фантом — модельное распределение скорости распространения ультразвуковых волн $c(r)$. На рис. 3б — решение обратной задачи (восстановленное распределение скорости). Задача решалась на суперкомпьютере «Чебышев» СКЦ МГУ.

Суперкомпьютер является неотъемлемой частью проектирования совре-

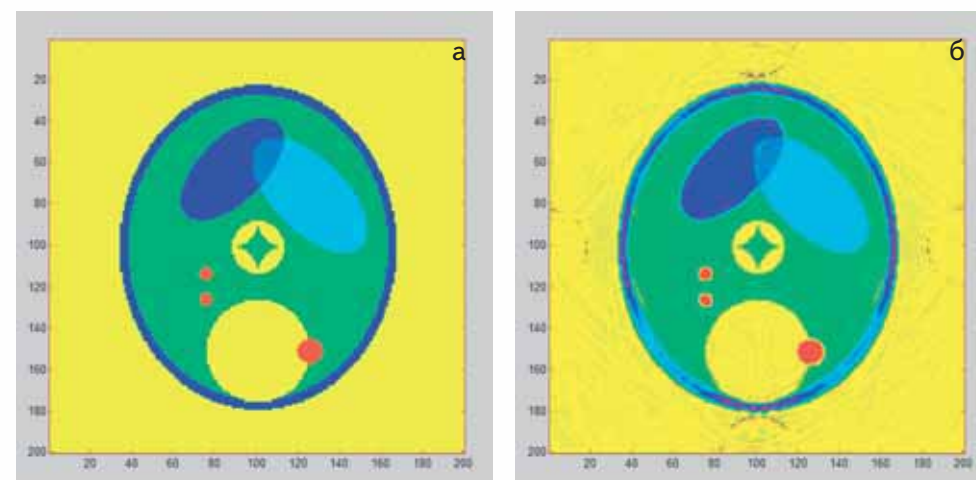


Рис. 3.
а — модельное исходное изображение; б — восстановленное изображение

менных томографов. В рамках математического моделирования решаются задачи определения оптимальных параметров ультразвуковых томографов, таких как параметры дискретизации сигнала по времени, количество источников, приемников и т.п. Отдельным вопросом является выбор архитектуры суперкомпьютера для обработки данных ультразвуковых томографических комплексов.

Работа проводилась при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007—2013 годы», — госконтракт № 07.514.12.4024.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Duric N., Littrup P., Poulou L., Babkin A., Pevzner R., Holsapple E., Rama O., Glide C. Detection of breast cancer with ultrasound tomography: First results with the Computed Ultrasound Risk Evaluation (CURE) prototype // *Medical Physics*, 2007. – 34. – Pp. 773–785.
2. Ruiten N.V., Schwarzenberg G.F., Zapf M., Meshikov A., Gemmeke H.: Results of an Experimental Study for 3D USCT. NAG DAGA. – Rotterdam, 2009.
3. Gemmeke H., Menshikov A., Tchernikovski D., Berger L., Göbel G., Birk M., Zapf M., Ruiten N.V.: Hardware Setup for the Next Generation of 3D Ultrasound Computer Tomography. IEEE NSS MIC, 2010.
4. Гончарский А.В., Романов С.Ю. Об одной задаче ультразвуковой томографии // *Вычислительные методы и программирование*, 2011. – Т.12. – С. 317–320.