

УДК 519.6

Е.Г. Домбругова

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОЛЯ, СОЗДАВАЕМОГО  
ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ, МЕТОДОМ  
ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ**

*Рассмотрен вопрос моделирования поля, создаваемого антенной решеткой. Показано, что моделирование требует больших вычислительных мощностей. Предложен вариант моделирования с использованием распределенных вычислений. Описан способ распределения вычислений по ядрам.*

*Параллельное решение; фазированные антенные решетки; фокусирование ультразвуковых волн.*

E.G. Dombrugova

**PARALLEL CALCULATION SOLVING FIELD GENERATED WITH PHASED  
ARRAY MODELING PROBLEM**

*In this text we consider modeling the field produced by antenna array. It is shown that simulation requires massive computing power. The variant modeling using distributed computing is showed. The method of computing the distribution of core.*

*Parallel solver; phased array focused ultrasound.*

Данная работа посвящена моделированию сходящегося акустического поля, создаваемого фазированной решеткой ультразвуковых излучателей. Акустическое фокусированное поле, используемое в хирургических целях, формируется за счет интерференции акустических полей, генерируемых множеством ультразвуковых излучателей. Необходимо создание фокальной области с достаточно высокой интенсивностью звукового давления с возможностью перемещения этой области. Целью исследований ставится обратная задача: найти количество отдельных излучателей, параметры их работы, а также геометрические размеры антенной решетки, исходя из желаемого распределения акустического поля в пространстве.

Данная задача уже ставилась в работах [2,3], однако в этом случае задача решалась путем серии последовательных вычислений, требующих больших вычислительных мощностей, на одном ПК.

Целью данной работы является нахождение распределения акустического поля, создаваемого множеством излучателей, в пространстве с использованием распределенных вычислений.

Для начала необходимо найти поле, создаваемое в пространстве одиночным преобразователем. Упрощенно смещение частиц под действием ультразвука можно выразить, как

$$A(t) = A_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

где  $A(t)$  – смещение частиц как функция времени,  $A_0$  – амплитуда смещения,  $\omega$  – циклическая частота ультразвуковых колебаний,  $\varphi$  – начальная фаза колебаний; при этом произведение  $\omega \cdot t$  равняется расстоянию от излучателя до исследуемой точки пространства, выраженному в длинах волн:

$$\omega \cdot t = \frac{r}{\lambda}. \quad (2)$$

Кроме этого, следует учитывать направленность: любой ультразвуковой излучатель обладает некоторой пространственной избирательностью, поэтому уместно будет говорить о функции характеристики направленности  $R(\theta)$  – отношение давления, развиваемого излучателем на одном и том же расстоянии  $r$  в произвольном направлении к давлению, развиваемому излучателем в некотором фиксированном направлении, где излучение максимально. В то же время следует учитывать геометрическое рассеяние звука с расстоянием. В таком случае смещение частиц под действием одиночного излучателя в некоторой точке пространства можно выразить как

$$A = \frac{A_0 \cdot \sin(\omega t + \varphi) \cdot R(\theta)}{r^2}, \quad (3)$$

где  $\theta$  – угол между осью излучателя и лучом, проведенным из центра излучателя в данную точку пространства, а  $r$  – расстояние от излучателя до этой точки.

При проведении расчетов значения  $\theta$  и  $r$  определяются из простой геометрической задачи и рассчитываются исходя из координат преобразователя и исследуемой точки пространства. Исходя из геометрических размеров (диаметр фазированной решетки составляет 180 мм, расстояние от акустической антенны до точки фокуса 150 мм, размеры фокальной области 60x18x18) нетрудно рассчитать, что оптимальная ширина основного лепестка характеристики направленности составляет порядка  $17^\circ$  для излучателей, наиболее удаленных от центра фазированной решетки. Такое значение ширины основного лепестка характеристики направленности можно использовать для всех акустических излучателей.

Для моделирования распределения энергии в пространстве необходимо просуммировать смещение частиц в каждой точке пространства, вызванное каждым излучателем.

$$A = \sum_i A_i, \quad (4)$$

$$\theta = \arccos \frac{R^2 + (x_m - x_{np})^2 + (y_m - y_{np})^2 + (z_m - z_{np})^2 - (x_m - x_{np})^2 - y_{np}^2 - z_{np}^2}{2R\sqrt{(x_m - x_{np})^2 + (y_m - y_{np})^2 + (z_m - z_{np})^2}}, \quad (5)$$

$$r = \sqrt{(x_m - x_{np})^2 + (y_m - y_{np})^2 + (z_m - z_{np})^2}. \quad (6)$$

Подставляя в формулу (2) формулу (6), получим равенство:

$$\omega \cdot t + \varphi = \frac{r}{\lambda} + \varphi = \frac{\sqrt{(x_m - x_{np})^2 + (y_m - y_{np})^2 + (z_m - z_{np})^2} \cdot f}{c} + \varphi, \quad (7)$$

Для того, чтобы получить сумму амплитуд давлений, создаваемых некоторым количеством излучателей, в каждой точке рассматриваемой части пространства, требуются большие вычислительные мощности. Требуется использование распределенных вычислений.

Распараллеливание задач происходит следующим образом: пространство можно разделить на условные одинаковые области так, чтобы количество областей равнялось количеству ядер. Серверное ядро пересылает прочим данные для серии последовательных вычислений для каждого ядра так, чтобы каждое ядро рассчитывало акустическое поле в определенной области, создаваемое всеми преобразователями (ядро рассчитывает поле, создаваемое каждым преобразователем в каждой точке отведенной области пространства, затем суммирует данные и получает

распределение акустического поля в данной области пространства). Затем полученные данные от всех ядер пересылаются в сервер, обрабатываются, на основании этих данных строится картина полного распределения поля в пространстве.

Допустим, что для расчета поля, формируемого одним излучателем в одной точке пространства (одной операции), требуется время  $t_{oo}$ , для суммирования полей каждого преобразователя требуется  $t_c n_n$  (где  $n_n$  – количество преобразователей), для пересылки данных требуется время  $t_n$ , для окончательной обработки данных требуется время  $t_{обр}$ . Обозначим  $n_r$  – количество точек пространства, для которых необходимо провести вычисления,  $n_a$  – количество ядер, доступное для проведения параллельных вычислений.

В таком случае для проведения расчетов на одном ПК потребуется время:

$$t_1 = n_n n_m t_{oo} + t_{обр}. \quad (8)$$

Для  $n_r \gg n_a$  (в нашем случае  $n_r \approx 10^8$ ,  $n_a = 2048$ ) приближенно можно считать, что время, необходимое для проведения расчетов с использованием распределенных вычислений, составит

$$t_2 = 2t_n + \frac{n_m n_n}{n_a} t_{oo} + t_c n_n + t_{обр}. \quad (9)$$

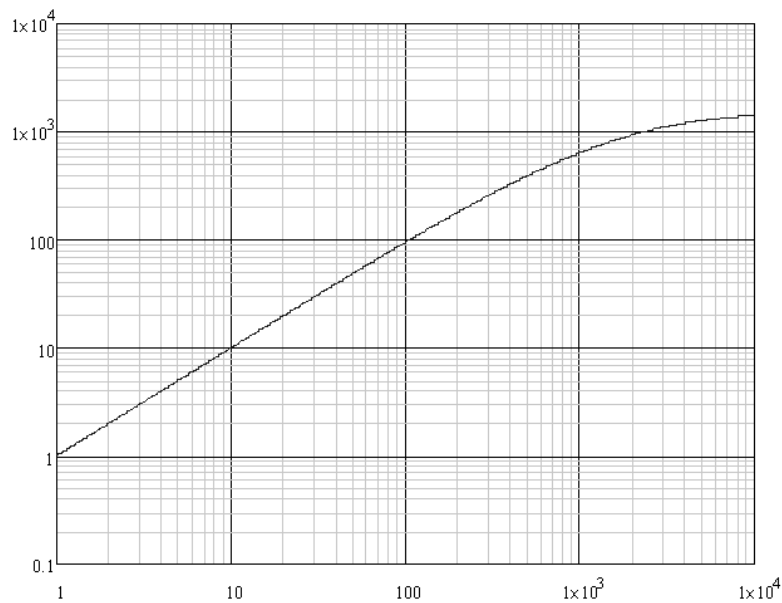


Рис. 1. Зависимость ускорения от количества ядер

На данной иллюстрации приведена зависимость отношения времени вычисления на одном ядре ко времени вычисления на некотором количестве ядер, от количества ядер (для расчетов были использованы оценочные данные).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В., Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – С. 134-154.

2. *Гаврилов Л.Р., Хэнд Дж. У.* Двумерные фазированные ультразвуковые решетки для применения в хирургии: перемещение одиночного фокуса // Акустический журнал. – 2000. – Т. 46. – С. 456-466.
3. *Домбругова Е.Г.* Тезисы докладов Всероссийской научной конференции студентов и аспирантов // Техническая кибернетика, радиоэлектроника и системы управления. – Таганрог, 2008. – Т. 2. – С. 77-78.

**Домбругова Елена Георгиевна**

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: yhellowhat@yandex.ru.

347928, г. Таганрог, ул. Чехова, 2.

Тел.: 88634310635.

**Dombrugova Elena Georgievna**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: yhellowhat@yandex.ru.

2, Chekhova street, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +78634310635.