

УДК 519.6

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ ТОМОГРАФИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ В КОНУСАХ ЛУЧЕЙ\*

Е.В. Шапошникова

*Новосибирский государственный технический университет*

Россия, 630092, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

E-mail: [shaposhnikova\\_e@ngs.ru](mailto:shaposhnikova_e@ngs.ru)

А.А. Романенко

*Новосибирский государственный университет*

Россия, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2

E-mail: [arom@ccfit.nsu.ru](mailto:arom@ccfit.nsu.ru)

**Ключевые слова:** трехмерная томографическая реконструкция, параллельные вычисления

**Key words:** 3D tomographic reconstruction, parallel computations

Задача трехмерной томографической реконструкции может быть сведена к задаче обработки массива, значения элементов в котором определяются сложным выражением и требуют большого объема вычислений. Для решения задачи использовался метод сбалансированной загрузки процессоров вычислительной системы, основанный на учете загрузки каждого процессора. Рассматриваются два подхода к динамическому распределению вычислений: с управляющим процессом и без управляющего процесса.

**APPLICATION OF PARALLEL COMPUTATIONS FOR 3D TOMOGRAPHIC RECONSTRUCTION MODELING** / E.V. Shaposhnikova (Novosibirsk State Technical University, 20 Karla Marksa pr., Novosibirsk 630092, Russia, E-mail: [shaposhnikova\\_e@ngs.ru](mailto:shaposhnikova_e@ngs.ru)), A.A. Romanenko (Novosibirsk State University, 2 Pirogova, Novosibirsk 630090, Russia, E-mail: [arom@ccfit.nsu.ru](mailto:arom@ccfit.nsu.ru)). The 3D tomographic reconstruction problem can be reduced to the array processing problem, where the values of elements are determined by the compound expression and they require many computations. For this problem solving the balanced load of computation system processors method is used based on load each process accounting. Two approaches to computations dynamic allocation are considered: with the control process and without the control process.

## 1. Введение

В настоящее время ведутся активные работы по созданию методов трехмерной томографии. В отличие от широко применяемой классической томографии, которая использует метод послойной реконструкции внутренней структуры объекта, в трехмерной томографии сразу восстанавливается трехмерный

\* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 03-01-00910, № 03-7-90060) и фонда «Научный потенциал»

объект на основе его двумерных проекций. Методы трехмерной томографической реконструкции лежат в основе создания нового поколения томографов.

Особенность алгоритмов трехмерной томографической реконструкции состоит в необходимости выполнения большого объема вычислений для получения значения плотности в одной точке. А для получения необходимой точности при реконструкции, например, головы человека, необходимо восстанавливать плотность объекта в  $2 \times 10^6$  точках.

Таким образом, уже на этапе моделирования возникает проблема организации быстрых вычислений. В нашей работе рассматриваются способы организации параллельных вычислений для моделирования трехмерной томографической реконструкции.

При распараллеливании задачи мы постарались обеспечить максимальную эффективность используемых ресурсов, для чего применили метод сбалансированной загрузки процессоров вычислительной системы, основанный на учете загрузки каждого процессора и динамическом распределении вычислений по доступным ресурсам.

## 2. Постановка задачи

Задача томографической реконструкции в трехмерных конусах лучей заключается в восстановлении плотности трехмерного объекта в заданной точке. Исходными данными являются значения на пленке или двумерной матрице детекторов, полученные при разных положениях источника излучения, дискретно движущегося по некоторой трехмерной траектории (рис. 1). Математически решается задача определения функции трех переменных  $f(x) = f(x_1, x_2, x_3)$  по ее интегралам вдоль прямых, лежащих в трехмерном пространстве.

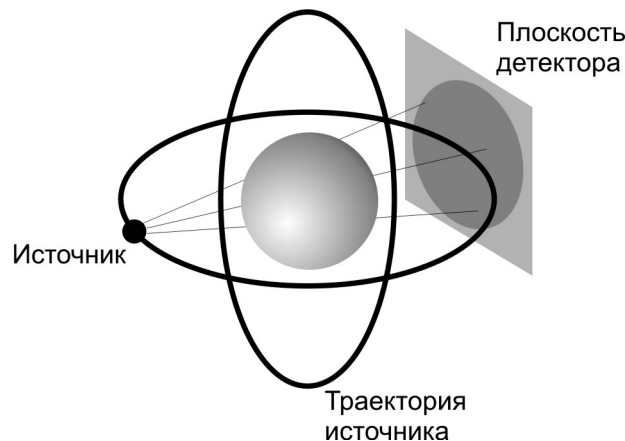


Рис. 1. Возможная схема получения данных при трехмерной томографии.

Для моделирования томографической реконструкции в нашей работе использовалась формула, приведенная в [1, 2]

$$(1) \quad f(x) = \frac{-1}{8\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \cos\theta \frac{1}{\langle \gamma'(\lambda), \beta \rangle} \frac{\partial}{\partial \lambda} \left[ \int_{S(\beta)} L(\beta, D) g^+(\lambda, \xi) \Omega(\xi) \right] d\theta d\varphi.$$

Здесь  $f(x) = f(x_1, x_2, x_3)$  – координаты точки, плотность в которой необходимо найти,  $g^+(\lambda, \xi)$  – исходные значения на детекторе, которыми являются интегралы от исследуемой функции  $f(x)$  вдоль луча, проходящего через точку положения источника  $\gamma(\lambda)$  в направлении вектора  $\xi$ . Для каждого вектора  $\beta(\theta, \varphi)$  производится интегрирование функции по окружности  $S(\beta)$ , являющейся пересечением единичной сферы и плоскости  $P(x, \beta)$ , затем дифференцирование в направлении вектора  $\beta$  и нахождение производной по  $\partial\lambda$ , где  $\lambda$  – параметр, определяющий положение источника. Вычисляя интеграл таким образом, получаем значение плотности функции в точке  $f(x) = f(x_1, x_2, x_3)$  по ее лучевому преобразованию  $g^+(\lambda, \xi)$ .

Для распараллеливания томографической реконструкции был выбран подход, при котором счет одной точки целиком выполняется одним процессом. Таким образом, необходимо решить задачу обработки массива, значения элементов в котором определяются сложным выражением и требуют большого объема вычислений. Наша задача относится к классу задач, которые можно эффективно распараллелить.

### 3. Организация параллельных вычислений

При организации параллельных вычислений необходимо обеспечить максимальную эффективность использования вычислительных ресурсов. Естественным подходом для реализации распараллеливания томографической реконструкции представляется распараллеливание по точкам, т.е. счет одной точки целиком выполняется одним процессом. Но поскольку время вычисления значения плотности в точке не является постоянным, то простым разбиением числа всех точек на количество процессоров эта задача не может быть решена. Кроме того, необходимо учесть неоднородность узлов в вычислительном комплексе.

Для решения задачи должно быть организовано динамическое распределение вычислений по доступным ресурсам. Для этого используется метод сбалансированной загрузки процессоров вычислительной системы, основанный на учете загрузки каждого процессора. При этом непосредственно выполняющийся процесс организует загрузку своего процессора: выполнив вычисления в точке и сохранив или передав результат, он обращается за следующей точкой.

В целях достижения наибольшей эффективности распараллеливания было опробовано два подхода к динамическому распределению вычислений: без управляющего процесса и с управляющим процессом.

В первом случае возможна следующая реализация. Для организации прохода по точкам создается счетчик точек в файле. Каждый процесс, выполнив вычисления в точке и сохранив результат, обращается к счетчику за следующей точкой; доступ к счетчику осуществляется в блокирующем режиме.

Такой алгоритм размещения позволяет организовать динамическую балансировку загрузки процессоров. Задача легко масштабируется на любое количество процессоров  $n$ ,  $1 \leq n \leq m$ , где  $m$  – количество точек для восстановления, при этом достигается высокая эффективность распараллеливания (рис. 2, 3).

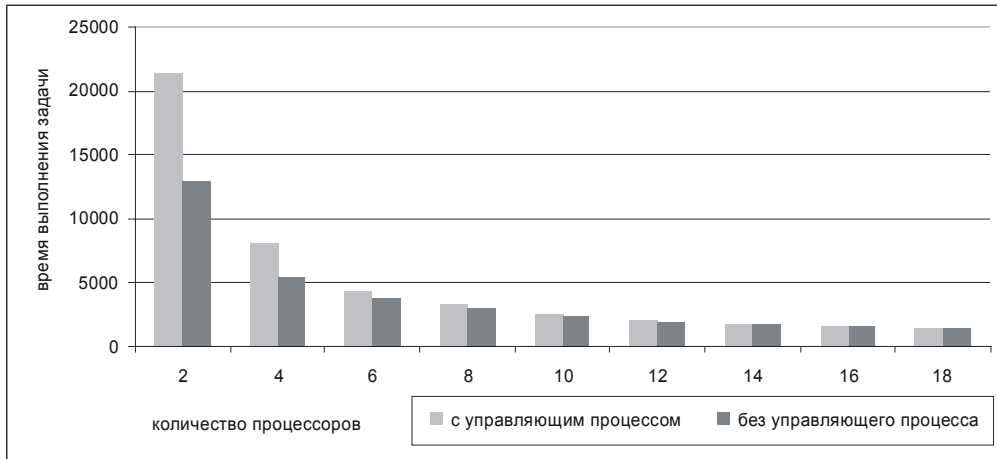


Рис. 2. Время выполнения задачи на разном количестве процессоров.

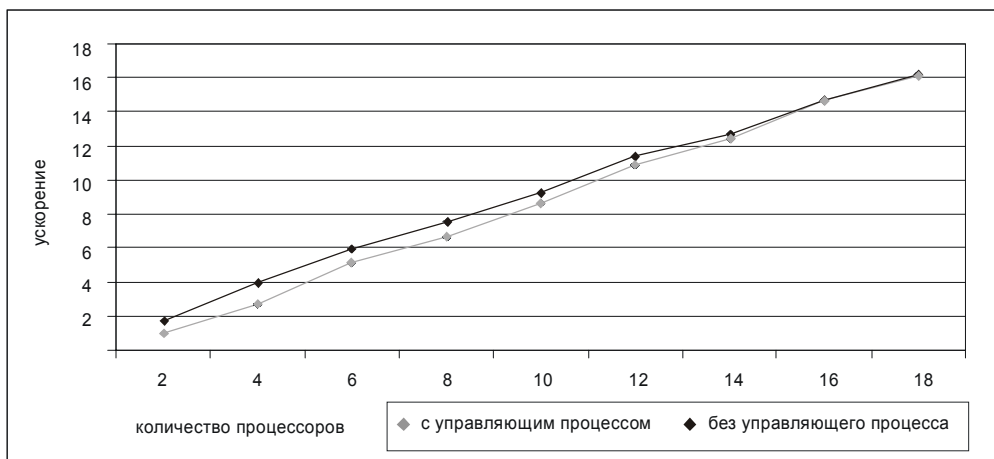


Рис. 3. Ускорение.

Недостаток такого подхода состоит в том, что, так как обращение к файлу происходит в монопольном режиме, возможны ситуации, когда к файлу будет образовываться очередь и, следовательно, возникать простои процессоров. Кроме того, отсутствует глобальный учет состояния вычислений, необходимый для корректной приостановки выполнения задачи – его организация требует несоразмерных для такого подхода затрат.

Рассмотрим подход для организации выполнения задачи с использованием управляющего процесса.

Выделяется один процесс, который раздает точки считающим процессам, проверяет выполнение счета в каждой точке и сохраняет результат. Кроме того, он сохраняет контекст исполняемой задачи (номера точек, в которых значения уже вычислены), так как обладает всей достаточной информацией – таким образом, решается проблема корректной приостановки задачи. Но очевидно, что при небольшом количестве задействованных процессоров такое распараллеливание задачи оказывается неэффективным, так как увеличивается время простоя процессора, на котором выполняется управляющий процесс. С другой стороны, можно отметить, что при увеличении количества процессоров время выполнения задачи при использовании разных подходов к распараллеливанию становится сопоставимым (рис. 3).

## 4. Заключение

Задача трехмерной томографической реконструкции объекта может быть сведена к задаче обработки массива, для нахождения элементов которого требуется выполнять большой объем вычислений.

В целях достижения наибольшей эффективности распараллеливания было опробовано два подхода к динамическому распределению вычислений: без управляющего процесса и с управляющим процессом.

В первом случае достигается высокая эффективность распараллеливания для любого количества процессоров (из опробованного нами в рамках эксперимента), но возникают дополнительные сложности при организации глобального учета состояния вычислений.

При наличии управляющего процесса легко организовать глобальный учет состояния вычислений, но при небольшом количестве задействованных процессоров увеличивается время простоя процессора, на котором выполняется управляющий процесс и распараллеливание задачи оказывается неэффективным.

Отмечено, что при увеличении количества процессоров время выполнения задачи при использовании разных подходов становится сопоставимым. Можно предположить, что количество процессоров, на котором при разных способах размещения задачи время выполнения становится сопоставимым будет зависеть от таких параметров программы и многопроцессорной системы как: алгоритм реконструкции, необходимая точность реконструкции, мощность процессоров, время обмена сообщениями между процессорами и др. Поэтому выбор первого или второго подхода будет зависеть от конкретных условий реконструкции и общей постановки задачи.

Авторы выражают благодарность О.Е. Трофимову за внимание к работе и полезные советы в томографической части, а также декану ФИТ НГУ М.М. Лаврентьеву, заведующему кафедрой параллельных вычислений ФИТ НГУ В.Э. Малышкину и др. за поддержку высокопроизводительных вычислений в НГУ.

## Список литературы

1. Касьянова С.Н., Трофимов О.Е. Компьютерное моделирование алгоритма трехмерной томографии для траектории источника, состоящей из двух пересекающихся окружностей // Автометрия. 1996. Т. 40, №6. С. 50-59.
2. Лаврентьев М. М., Зеркаль С. М., Трофимов О. Е. Численное моделирование в томографии и условно-корректные задачи. Новосибирск: Издательство ИДМИ НГУ, 1999. 171 с.
3. Корнеев В.Д. Параллельное программирование в MPI. Новосибирск: Изд-во ИВМиМГ СО РАН, 2002. 215 с.