
To the
Doctorate Commission
Al Faraby Kazakh National University
Al Faraby av. 71
480078 Almaty
Kazakhstan

Your sign:
Your message from:
Our sign:
Our message from:

Contact: Andreas Lintermann
Organizational unit: JSC

Phone: 02461 61-1754
Fax: 02461 61-6656

E-Mail: A.Lintermann@fz-juelich.de

Jülich, October 20, 2022

**Feedback on the dissertation work: "Optimal Memory Layouts and
Communication Patterns for Parallel Unstructured CFD-Codes"**

by Sakypbekova Meruert

**submitted for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty
6D075100 - "Informatics, Computer Engineering and Management"**

Dear Members of the Doctorate Commission,

Meruert Sakypbekova presented her dissertation on "Optimal Memory Layouts and Communication Patterns for Parallel Unstructured CFD-Codes". The dissertation focuses on high-performance computing on general purpose graphics processing units (GPUs) with complex coupled simulations with non-trivial numerical domain decompositions using Hilbert Space Fill Curve (SFC) using unstructured computational grids. The doctoral dissertation consists of 5 chapters devoted to the study of mathematical models of various large-scale problems and parallel numerical algorithms that solve model equations. These chapters are summarized below.

Chapter 1 is devoted to the analysis of modern high-performance computing systems for applied problems. The calculations with the help of multi-core CPUs and the basic principles of calculations on the GPU are described. At the end of this chapter, an analysis and evaluation of the efficiency of high-performance computing on the CPU and GPU is performed.

Chapter 2 introduces the mathematical model for the simulation of fluid flow. This chapter summarizes the basic equations of hydrodynamics: the equation of continuity, the momentum equation of a continuous medium. The non-dimensional formulation and discretization of the Navier-Stokes equation are described in detail.

Chapter 3 discusses the numerical solution of the Poisson equation in a predefined rectangular area, which appears in a wide class of applied problems. A parallel numerical simulation on the CPU and GPU is presented. On the basis of this implementation, a comparative analysis is made, which shows the efficiency of the parallel numerical algorithm.

Chapter 4 includes numerical studies to determine the computational efficiency of the overall simulation method for the problem of incompressible, viscous flow in a cavity. First, the necessary boundary conditions for the mathematical model are defined. Subsequently, a detailed description of the parallel numerical algorithm for the GPU is given. The chapter also includes an analysis of the number of threads per computational block for the GPU, which is the most important parallelization parameter in CUDA. It is shown that an optimal value for this parameter exists and an estimate of the efficiency of the parallel algorithm is given. Chapter 5 contains the results of mixed-convective heat transfer during laminar two-dimensional flow in a vertical channel for structured and unstructured computational grids. First, the necessary boundary conditions for the mathematical model are formulated. Then, the parallel numerical algorithm for the simulation of incompressible, viscous flow behind a backward facing step on structured and unstructured computational grids is described in detail. The parallelization of the algorithm is based on CUDA and the Hilbert space filling curve (SFC) is used for the domain decomposition. The chapter also includes an evaluation of the efficiency of the parallel algorithm.

The main results presented in the dissertation have been published in peer-reviewed international and local scientific journals.

During her research, Meruert Sakypbekova completed two scientific internships at the Institute of Aerodynamics of the RWTH Aachen University. She studied parallel computing strategies for various large-scale related problems that ran on the RWTH Aachen University computing cluster. During her internship at the Institute of Aerodynamics, Meruert Sakypbekova proved that she can independently conduct scientific research at the highest level.

The results of the dissertation work of Meruert Sakypbekova are new and are at a high international level. Therefore, her doctoral dissertation definitely meets all necessary requirements for a dissertation.

Summing up, there is no doubt that the dissertation work of Meruert Sakypbekova on the topic "Optimal Memory Layouts and Communication Patterns for Parallel Unstructured CFD-Codes" should be accepted for the defense of the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the specialty 6D075100 - Computer Science, Computer Engineering and Management.

Sincerely Yours,

A. Untermaier



Dr.-Ing. Andreas Untermaier (Scientific Supervisor)
Head of the Simulation and Data Lab "Highly-Scalable Fluids & Solids Engineering"
and Coordinator of CoE RAISE
Jülich Supercomputing Centre, Forschungszentrum Jülich GmbH

Для предоставления в докторскую комиссию
Казахского национального университета имени
Аль-Фараби
Пр. Аль-Фараби, 71
480078, г. Алматы
Казахстан

Ваше обозначение:
Ваше сообщение от:
Наше обозначение:
Наше сообщение от:
Контакт: Андреас Линтерманн
Организационная единица: АО
Телефон: 02461 61-1754
Факс: 02461 61-6656
Электронная почта: A.Lintermann@fz-
juelich.de
Юлих, 20 октября 2022 года

ОТЗЫВ

на диссертационную работу Сақыпбековой Меруерт на тему: "Оптимальные раскладки памяти и коммуникационные шаблоны для параллельных неструктурированных CFD-кодов", представленной на соискание ученой степени доктора философии по специальности 6D075100 - "Информатика, вычислительная техника и управление"

Уважаемые члены Докторской комиссии,

Меруерт Сақыпбекова представила свою диссертацию на тему "Оптимальные раскладки памяти и коммуникационные шаблоны для параллельных неструктурированных CFD-кодов". Диссертация посвящена высокопроизводительным вычислениям по блокам обработки графики общего назначения (GPU) с комплексным сопряженным моделированием с нетривиальными числовыми декомпозициями доменов с использованием кривой заполнения пространства Гильберта (SFC) с использованием неструктурированных вычислительных сеток. Докторская диссертация состоит из 5 глав, посвященных изучению математических моделей различных крупномасштабных задач и параллельных численных алгоритмов, решающих модельные уравнения. Краткое изложение этих глав приводится ниже.

Глава 1 посвящена анализу современных высокопроизводительных вычислительных систем на наличие прикладных проблем. Описаны расчеты с помощью многоядерных процессоров и основные принципы вычислений на GPU. В конце этой главы выполняется анализ и оценка эффективности высокопроизводительных вычислений на CPU и GPU.

Глава 2 содержит описание математической модели моделирования потока текучей среды. В этой главе обобщены основные уравнения гидродинамики: уравнение непрерывности,

уравнение импульса непрерывной среды. Неразмерная формулировка и дискретизация уравнения Навье-Стокса описаны подробно.

В главе 3 рассматривается численное решение уравнения Пуассона в предопределённой прямоугольной области, которая появляется в широком классе прикладных задач. Представлено параллельное численное моделирование на CPU и GPU. На основе этой реализации сделан сравнительный анализ, показывающий эффективность параллельного числового алгоритма.

Глава 4 включает численные исследования для определения вычислительной эффективности общего метода моделирования проблемы несжимаемого вязкого потока в полости. Сначала определяются необходимые граничные условия для математической модели. Впоследствии приводится подробное описание параллельного числового алгоритма для GPU. Глава также включает анализ количества потоков на вычислительный блок для графического процессора, который является наиболее важным параметром параллелизации в CUDA. Показано, что оптимальное значение для этого параметра существует и дана оценка эффективности параллельного алгоритма. Глава 5 содержит результаты смешанно-конвективной теплопередачи при ламинарном двумерном потоке в вертикальном канале для структурированных и неструктурированных вычислительных сеток. Сначала формулируются необходимые граничные условия для математической модели. Далее подробно описан параллельный численный алгоритм моделирования несжимаемого вязкого потока за обращенным назад шагом на структурированных и неструктурированных вычислительных сетках. Параллелизация алгоритма основана на CUDA и кривой заполнения пространства Гильберта (SFC) используется для разложения домена. Глава также включает оценку эффективности параллельного алгоритма.

Основные результаты, представленные в диссертации, опубликованы в рецензируемых международных и местных научных журналах.

За время своих исследований Меруерт Сакыпбекова прошла две научные стажировки в Институте аэродинамики Рейнско-Вестфальский технического университета Ахена. Она изучала стратегии параллельных вычислений для различных крупномасштабных связанных проблем, которые работали в вычислительном кластере Рейнско-Вестфальский технического университета Ахена. Во время стажировки в Институте аэродинамики Меруерт Сакыпбекова доказала, что может самостоятельно проводить научные исследования на высшем уровне.

Результаты диссертационной работы Меруерт Сакыпбековой являются новыми и находятся на высоком международном уровне. Поэтому ее докторская диссертация определенно отвечает всем необходимым требованиям, предъявляемым к диссертации.

Подводя итог, можно не сомневаться, что диссертационная работа Меруерт Сакыпбековой на тему «Оптимальные раскладки памяти и коммуникационные шаблоны для параллельных неструктурированных CFD-кодов» должна быть принята на защиту степени доктора философских наук (PhD) по специальности 6D075100 - Информатика, вычислительная техника и управление.

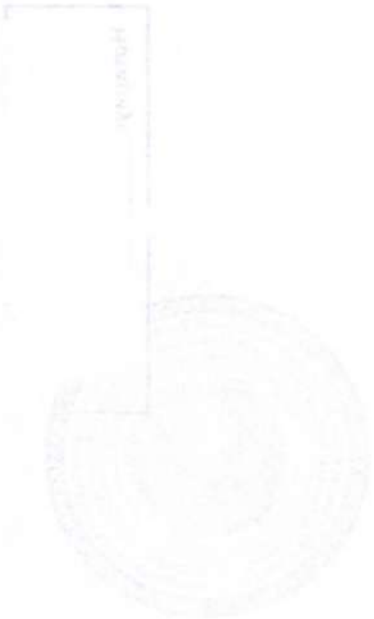


С уважением,

/Подпись/

Др.инж. Андреас Линтерманн (научный руководитель)

Руководитель лаборатории моделирования и обработки данных "Разработка высокомасштабируемых жидкостей и твердых тел" и координатор программы CoE RAISE Суперкомпьютерный центр Юлиха, компания "Forschungszentrum Julich GmbH"



Я, **Кенжетаетаева Диана Серикболовна**, ИИН 890416450513, (удостоверение личности № 037494459, выдано МВД РК от 02.02.2015 г. действительно до 01.02.2025 г.), настоящим подтверждаю, что данный перевод является точным переводом данного документа и соответствует содержанию оригинала документа.

Подпись

Кенжетаетаева Диана Серикболовна

ИП «TRANSLATION SERVICES PRO»
ЖСН/ИИН 890416450513
Кенжетаетаева Диана
Аудармашы/Переводчик
Сот: +7 747 580 89 48

«шестнадцатое» ноября две тысячи двадцать второго года я, **Мусатаева Айгерим Максатовна**, нотариус города Алматы, действующий на основании лицензии №21015147, выданной Министерством Юстиции Республики Казахстан от 15.04.2021 года, свидетельствую подлинность подписи переводчика **Кенжетаетовой Дианы Серикболовны**. Личность переводчика установлена, дееспособность и полномочия проверены.

Зарегистрировано в реестре за № *1720*

Взыскана сумма согласно ст. 30 п. 2 «Закона РК О Нотариате» в т.ч. ГП РК

Нотариус



Diya



Пронумеровано и прошнуровано
Нотариус *Diya* ЛИС



ET4707106221116171518P622668

Нотариаттық іс-әрекеттің бірегей нөмірі / Уникальный номер нотариального действия