

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра информатики и программирования

**Создание, оценка эффективности и оптимизация  
параллельных приложений, разрабатываемых в Intel Parallel Studio XE**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студента 4 курса 441 группы

направления 02.03.03 Математическое обеспечение и администрирование  
информационных систем

факультета компьютерных наук и информационных технологий

Зубарева Александра Михайловича

Научный руководитель

доцент кафедры ИиП, к.ф.-м.н

\_\_\_\_\_

К. П. Вахлаева

подпись, дата

Заф. кафедрой

к.ф.-м.н

\_\_\_\_\_

М. В. Огнёва

подпись, дата

Саратов 2019

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Идеи параллельных вычислений появились очень давно. Изначально они внедрялись в самых передовых, а потому единичных, компьютерах своего времени. Затем, после должной отработки технологии и удешевления производства, они спускались в компьютеры среднего класса, и, наконец, сегодня все это в полном объеме воплощается в рабочих станциях и персональных компьютерах. Так, современные компьютеры обычных пользователей имеют от 2 до 16 процессоров, и распараллеливание программы является скорее не роскошью, а необходимостью для поддержания конкурентоспособности. Таким образом, программист должен правильно распараллелить своё приложение, и в идеале «научить» его работать с максимальной эффективностью как минимум на 4, 8 и 16 потоках. Помимо этого, не стоит забывать о новых проблемах, возникающих с внедрением в программу многопоточности и связанных с возможностью одновременных чтения и записи одного объекта несколькими процессами.

Распараллеливание программ на данный момент является наиболее эффективным средством ускорения приложений. Это означает, что программист обязан знать как минимум основы распараллеливания и уметь распараллелить своё приложение правильно.

Intel Parallel Studio XE – пакет, созданный для того, чтобы помочь программисту в задаче создания параллельного кода, а также распараллеливания уже существующего, нахождения и устранения проблем, связанных с параллелизмом. Инструменты, входящие в состав пакета, интегрируются со средой программирования Visual Studio и показывают, как лучше распараллелить программу, сигнализируют о том, какие ошибки были допущены при распараллеливании и как их можно решить.

**Цель бакалаврской работы** – изучение инструментов, входящих в состав Intel Parallel Studio XE для C++ Windows и разработка электронного курса в системе MOODLE по их практическому применению.

Поставленная цель определила **следующие задачи:**

1. Изучить инструменты параллельного программирования, входящие в состав Intel Parallel Studio XE;
2. Проанализировать с помощью инструментов Intel Parallel Studio XE результаты работы программ для решения вычислительных задач и задач обработки данных;
3. Выполнить распараллеливание программ методами, предложенными инструментами Intel Parallel Studio XE, и сравнить полученные результаты ускорения вычислений;
4. Разработать электронный курс для изучения Intel Parallel Studio XE в системе MOODLE.

**Методологические основы работы** «Создание, оценка эффективности и оптимизация параллельных приложений, разрабатываемых в Intel Parallel Studio XE» представлены в работах Гергеля В. П., Стронгина Р. Г. [11], М. Вильямса М. [13], Кормена Т., Лейзерсона Ч., Ривеста Р., Штайна К. [15].

**Практическая значимость бакалаврской работы.** В ходе работы был создан электронный курс «Параллельное программирование с помощью инструментов Intel Parallel Studio XE» в системе MOODLE на сайте [course.sgu.ru](http://course.sgu.ru) для студентов. Для прохождения этого курса студентам потребуются знания технологии распараллеливания приложений OpenMP и базовые знания языка C++. После прохождения данного курса студенты смогут пользоваться инструментами Intel Parallel Studio для создания новых и улучшения уже существующих параллельных приложений.

**Структура и объём работы.** Бакалаврская работа состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка использованных источников и 11 приложений. Общий объем работы – 99 страниц, из них 60 страниц – основное содержание, включая 52 рисунка и 7 таблиц, цифровой носитель в качестве приложения, список использованных источников информации – 21 наименование.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Первый раздел «Инструменты Intel для параллельного программирования на C++»** посвящен теоретическому обзору набора инструментов Intel Parallel Studio XE.

В нем содержится определение, описание и содержание пакета Intel Parallel Studio XE, описаны его преимущества и различные комплектации версий [1, 2].

Рассмотрены инструменты в составе Intel Parallel Studio.

### 1. Intel Advisor:

- Дано определение и описание инструмента;
- Показана блок-схема работы Advisor;
- Описаны два набора функций инструмента, Vectorization Advisor и Threading Advisor;
- Рассмотрены основные функции инструмента, такие, как Survey Report (Отчет о собранных данных), Trip Counts and FLOP analysis (Счетчики путей и анализ FLOP), Roofline chart (Линейная диаграмма), Dependencies Report (Отчет о зависимостях), Memory Access Patterns (MAP) Report (Отчет по шаблонам доступа к памяти), Suitability Report (Отчет о пригодности);
- Показан графический интерфейс Intel Advisor [3,4,5].

### 2. Intel Inspector:

- Дано определение и описание инструмента;
- Показана блок-схема работы Inspector;
- Описан принцип работы инструмента;
- Раскрыта причина ложно положительных и ложно отрицательных прогнозов ошибок;
- Рассмотрены три типа анализа: Memory Error Analysis (анализ ошибок, связанных с памятью), Threading Error Analysis (анализ ошибок, связанных с многопоточностью) и Custom Analysis (анализ, настраиваемый пользователем);

- Описаны уровни глубины анализов инструмента (по 4 уровня для анализа на ошибки с памятью и с многопоточностью);

- Показан графический интерфейс Intel Inspector [7].

### 3. Intel VTune Amplifier:

- Дано определение и описание инструмента;
- Описаны три основных типа анализа - Hotspot-анализ (анализ «горячих точек»), Concurrency-анализ (анализ критических секций) и Lock & Wait анализ (анализ простаивания процессоров);

- Отображена одна из вкладок графического интерфейса Intel VTune Amplifier [8,9].

**Второй раздел «Реализация распараллеливания кода инструментами Intel Parallel Studio»** посвящен практической работе с инструментами Intel Parallel Studio.

Реализованы и распараллелены с помощью Intel Advisor задачи с симуляцией распараллеливания броска монеты и с вычислением числа  $\Pi$  с точностью до трех знаков после запятой методом Монте-Карло, результат распараллеливания сравнен с результатом, который был предсказан инструментом Advisor.

Реализованы и распараллелены следующие сортировки:

- Чет-нечетная сортировка;
- Сортировка слиянием;
- Сортировка Шелла;
- Быстрая сортировка;
- Модифицированная сортировка слиянием трех частей;
- Модифицированная сортировка слиянием четырех частей

[10,11,12,13,14,15].

Рассмотрены предсказания Intel Advisor по распараллеливанию

Создана диаграмма, наглядно показывающая предсказания Intel Advisor по распараллеливанию.

С помощью сортировок проверена точность вычисления времени работы Intel Advisor для четырех процессоров.

С помощью Intel Inspector из приложения tachyon, находящегося в пакете Intel Parallel Studio, найдены и исправлены следующие типы ошибок:

- неправильное выделение/освобождение памяти;
- Утечка памяти;
- Неправильный доступ к памяти;
- Гонка данных [16,17,18].

Найден с помощью анализа «горячих точек» инструментом Intel VTune Amplifier и изменен участок кода, выполняющийся в программе самое большое количество времени, что дало почти шестнадцатикратный прирост скорости исполнения этого участка, и почти двукратный прирост скорости исполнения программы в целом.

Найден с помощью анализа критических секций инструмента Intel VTune Amplifier и исправлен участок критической секции, что серьезно ускорило работу приложения tachyon\_vtune\_amp [19,20].

**Третий раздел «Создание электронного курса на сайте course.sgu.ru в системе MOODLE»** посвящен описанию курса «Параллельное программирование с помощью инструментов Intel Parallel Studio XE» в системе MOODLE, созданного на сайте course.sgu.ru на основе заданий, выполненных во втором разделе.

Первый раздел электронного курса содержит описание задачи симуляции бросков монеты в качестве методической части, в качестве задания студентам предложено реализовать параллельную работу задачи «вычисление числа Пи с точностью до трех знаков после запятой» с помощью Intel Advisor.

Второй раздел электронного курса содержит описание чет-нечетной сортировки и ее распараллеливания с помощью Intel Advisor в качестве методической части.

Далее в электронном курсе подробно описаны сортировки Шелла, слиянием (с модификациями) и быстрая сортировка. Схема описания сортировки Шелла:

1. Краткое описание алгоритма;
2. Общий алгоритм сортировки по шагам;
3. Подробный разбор алгоритма на примере;
4. Псевдокод сортировки с комментариями;
5. Преимущества сортировки по сравнению с быстрой;
6. Возможность параллельной реализации.

Схема описания быстрой сортировки:

1. Краткое описание алгоритма;
2. Общий алгоритм сортировки по шагам;
3. Описание опорного элемента;
4. Разбиение Хоара: описание, преимущества, недостатки;
5. Возможность параллельной реализации.

Схема описания сортировки слиянием:

1. Краткое описание алгоритма;
2. Общий алгоритм сортировки;
3. Подробный разбор алгоритма на примере;
4. Псевдокод сортировки с комментариями;
5. Возможность параллельной реализации;

Описаны модификации сортировки слиянием – слияние трех и четырех частей в одну.

Третий раздел электронного курса обучает студентов работе с Intel Inspector: в первых двух частях находится руководство, по которому студенты узнают о том, как пользоваться инструментом Inspector и какие ошибки он находит. Последнее задание предлагает провести для реализованных во втором разделе сортировок анализ на ошибки с памятью и многопоточностью с помощью инструмента Intel Inspector.

Четвертый раздел электронного курса обучает студентов работе с Intel VTune Amplifier: первые два задания знакомят с возможностями этого инструмента в формате руководства, в последнем задании студентам предлагается применить полученные знания, чтобы проанализировать сортировки с помощью инструмента Intel VTune Amplifier и исправить найденные им ошибки, после чего следуют примеры правильного и неправильного ответов на задание [21].

Третий раздел работы позволяет студентам в ходе чтения материалов и работы над заданиями получить знания, которые они смогут применить в будущем для распараллеливания своих приложений, а также анализа уже созданных приложений, использующих параллельные вычисления.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были выполнены следующие действия:

- Изучены инструменты параллельного программирования, входящие в состав Intel Parallel Studio XE;
- Проанализированы с помощью инструментов Intel Parallel Studio XE результаты работы программ для решения вычислительных задач и задач обработки данных; сравнены предсказания ускорения инструментами Intel Parallel Studio и полученные на практике результаты скорости работы;
- Выполнено распараллеливание программ методами, предложенными инструментами Intel Parallel Studio XE, полученные результаты ускорения вычислений сравнены с предсказаниями;
- Разработан электронный курс «Параллельное программирование с помощью инструментов Intel Parallel Studio XE» для изучения Intel Parallel Studio XE в системе MOODLE.

## Основные источники информации

1. Intel® Parallel Studio XE 2019. Эффективный высокопроизводительный код. // SoftLine. Информационное издание о цифровых изменениях в бизнесе и обществе [Электронный ресурс]: сайт. URL: <http://www.sldonline.ru/article/intel-parallel-studio-xe-2019-effektivnyj-vysokoproizvoditelnyj-kod/> Загл. с экрана. Яз. рус.
2. POWER THROUGH PERFORMANCE BOTTLENECKS // Intel Developer Zone [Электронный ресурс]: сайт. URL: <https://software.intel.com/en-us/parallel-studio-xe> (дата обращения: 15.05.2019). Загл. с экрана. Яз. англ.
3. Get Started with Vectorization & Threading // Intel Advisor documentation [Электронный ресурс]: сайт. URL: <https://software.intel.com/en-us/advisor/documentation/get-started> (дата обращения: 08.05.2019). Загл. с экрана. Яз. англ.
4. От последовательного кода к параллельному за пять шагов с Intel® Advisor XE // Krogozh [Электронный ресурс]: сайт. URL: <https://habr.com/ru/company/intel/blog/152086/started> (дата обращения: 07.05.2019). Загл. с экрана. Яз. рус.
5. Get Started with Vectorization & Threading // Intel Advisor documentation [Электронный ресурс]: сайт. URL: <https://hpc.llnl.gov/software/development-environment-software/intel-advisor> (дата обращения: 07.05.2019). Загл. с экрана. Яз. англ.
6. Intel Inspector // Intel Software Developer Zone <https://software.intel.com/en-us/inspector> (дата обращения: 16.05.2019). Загл. с экрана. Яз. англ.
7. Использование Intel® Inspector XE // Параллельные вычисления в УрО РАН [Электронный ресурс]: сайт. URL: <http://parallel.uran.ru/node/521> (дата обращения: 16.05.2019). Загл. с экрана. Яз. рус.
8. Intel® VTune™ Amplifier Release Notes and New Features // Intel® VTune™ Amplifier Documentation [Электронный ресурс]: сайт. URL:

<https://software.intel.com/en-us/articles/intel-vtune-amplifier-release-notes> (дата обращения: 16.05.2019). Загл. с экрана. Яз. рус.

9. Использование Intel® VTune™ Amplifier XE // Параллельные вычисления в УрО РАН [Электронный ресурс]: сайт. URL: <http://parallel.uran.ru/node/509> (дата обращения: 16.05.2019). Загл. с экрана. Яз. рус.

10. Параллельные алгоритмы сортировки // Supercomputer Software Department [Электронный ресурс]: сайт. URL: [http://ssd.sssc.ru/ru/contentпараллельные\\_алгоритмы\\_сортировки](http://ssd.sssc.ru/ru/contentпараллельные_алгоритмы_сортировки) (дата обращения: 17.05.2019). Загл. с экрана. Яз. рус.

11. Гергель, В. П., Стронгин, Р. Г. Глава 4. Параллельные численные методы для решения типовых задач вычислительной математики // Основы параллельных вычислений для многопроцессорных вычислительных систем / - 2-е изд. С. 92-102.

12. Пузырьковая сортировка // Минеев Александр, Вихирев Алексей [Электронный ресурс]: сайт. URL: <http://www.hpcc.unn.ru/?dir=1079> (дата обращения: 16.05.2019). Загл. с экрана. Яз. рус.

13. Левитин, А. В. Глава 4. Метод декомпозиции: Сортировка слиянием // Алгоритмы. Введение в разработку и анализ — М.: Вильямс, 2006. — С. 169–172. — 576 с.

14. shell sort // Toptal [Электронный ресурс]: сайт. URL: <https://www.toptal.com/developers/sorting-algorithms/shell-sort> (дата обращения: 17.05.2019). Загл. с экрана. Яз. рус.

15. Кормен, Т., Лейзерсон, Ч., Ривест, Р., Штайн, К. Глава 7. Быстрая сортировка // Алгоритмы: построение и анализ = Introduction to Algorithms / Под ред. И. В. Красикова. — 2-е изд. — М.: Вильямс, 2005. — С. 198-219.

16. Потоки. Гонка данных и другие проблемы // Интуит. Национальный открытый университет [Электронный ресурс]: сайт. URL: <https://www.intuit.ru/studies/courses/10554/1092/lecture/27095> sort (дата обращения: 17.05.2019). Загл. с экрана. Яз. рус.

17. Getting Started with Intel Inspector // Intel inspector [Электронный ресурс]: сайт. URL: [https://scc.ustc.edu.cn/zlsc/tc4600/intel/2017.0.098/inspector/welcomepage/get\\_started.htm](https://scc.ustc.edu.cn/zlsc/tc4600/intel/2017.0.098/inspector/welcomepage/get_started.htm) (дата обращения: 22.05.2019). Загл. с экрана. Яз. англ.
18. Критические секции // Журнал RSDN университет [Электронный ресурс]: сайт. URL: <https://rsdn.org/article/baseserv/critsec.xml> (дата обращения: 19.05.2019). Загл. с экрана. Яз. рус.
19. Intel Inspector // Development environment software [Электронный ресурс]: сайт. URL: <https://hpc.llnl.gov/software/development-environment-software/intel-inspector> (дата обращения: 22.05.2019). Яз. англ.
20. Intel Vtune Amplifier // Development environment software [Электронный ресурс]: сайт. URL: <https://hpc.llnl.gov/software/development-environment-software/intel-vtune-amplifier> (дата обращения: 22.05.2019). Загл. с экрана. Яз. англ.
21. Параллельное программирование с помощью инструментов Intel Parallel Studio XE // SSU [Электронный ресурс]: сайт. URL: Courses <https://course.sgu.ru/course/view.php?id=1298>. Загл. с экрана. Яз. рус.