

1342997

**ВЫСШЕЕ
ОБРАЗОВАНИЕ**

А. А. Малявко

**ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ
ПРОГРАММИРОВАНИЕ
НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ
OPENMP, CUDA, OPENCL, MPI**

3-е издание

УМО ВО
РЕКОМЕНДУЕТ

 **Юрайт**
ИЗДАТЕЛЬСТВО

А. А. Малявко

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ OPENMP, CUDA, OPENCL, MPI

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВУЗОВ

3-е издание, исправленное и дополненное

*Рекомендовано Учебно-методическим отделом высшего образования
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по инженерно-техническим направлениям*

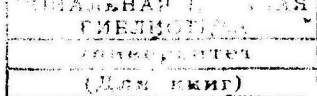
**Книга доступна на образовательной платформе «Юрайт» urait.ru,
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»**

Москва • Юрайт • 2022

УДК 004.2(075.8)

ББК 32.973я73

М21



1542997

Автор:

Малявко Александр Антонович — доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники факультета автоматике и вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета.

Рецензенты:

Гулько А. В. — доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматике факультета автоматике и вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета;

Ильных С. П. — доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники факультета автоматике и вычислительной техники Новосибирского государственного технического университета.

Малявко, А. А.

М21 Параллельное программирование на основе технологий openmp, cuda, opencl, mpi: учебное пособие для вузов / А. А. Малявко. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2022. — 135 с. — (Высшее образование). — Текст: непосредственный.

ISBN 978-5-534-14116-0

Курс содержит введение в технологии параллельного программирования для вычислительных систем различных классов. В него включены краткие сведения об архитектурах параллельных систем, рассмотрены понятия и виды параллелизма, описаны технологии параллельного программирования OpenMP для систем с общей памятью, CUDA и OpenCL для графических процессоров и гетерогенных компьютеров, а также интерфейс передачи сообщений MPI для систем с распределенной памятью.

Соответствует актуальным требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по инженерно-техническим направлениям. Может использоваться студентами, магистрантами и аспирантами других специальностей при изучении родственных дисциплин, а также преподавателями смежных дисциплин.

УДК 004.2(075.8)

ББК 32.973я73

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-5-534-14116-0

© Малявко А. А., 2017

© Малявко А. А., 2021, с изменениями

© ООО «Издательство Юрайт», 2022

Оглавление

Предисловие	5
Тема 1. Архитектура параллельных вычислительных систем.....	7
Тема 2. Введение в параллельное программирование	12
2.1. Распаралеливание циклов.....	14
2.2. Распаралеливание гнезд циклов.....	19
2.3. Преобразования гнезд циклов.....	21
2.4. Проблемы разработки параллельных программ.....	24
Тема 3. OpenMP: параллельные вычисления на системах с общей памятью	29
3.1. Модель параллельной программы OpenMP.....	29
3.2. Директивы управления регионами и потоками	33
3.3. Директивы распределения вычислений.....	35
3.4. Директивы синхронизации.....	41
3.5. Переменные окружения.....	43
3.6. Библиотека функций OpenMP	44
<i>Контрольные вопросы и задания.....</i>	<i>46</i>
Тема 4. CUDA: параллельные вычисления на графическом процессоре	48
4.1. Архитектура CUDA.....	48
4.2. Аппаратные компоненты CUDA.....	49
4.3. Программные компоненты CUDA.....	54
4.4. CUDA-расширение языка C/C++	56
4.5. Технология разработки CUDA-программ	60
4.6. Библиотека CUDA-runtime, основные функции	66
<i>Контрольные вопросы и задания.....</i>	<i>68</i>
Тема 5. OpenCL: параллельные вычисления на гетерогенном компьютере.....	70
5.1. Модель платформы.....	70
5.2. Модель памяти OpenCL.	71

5.3. Модель исполнения OpenCL-программ	73
5.4. Модель структуры OpenCL-программ	75
5.5. Пример OpenCL-программы.	77
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	83

Тема 6. MPI: параллельные вычисления на системах с распределенной памятью..... 85

6.1. Основные понятия интерфейса MPI	86
6.2. Функции инициализации и определения окружения.....	89
6.3. Обмен сообщениями типа «точка-точка».....	90
6.4. Коллективные операции взаимодействия процессов	96
6.5. Производные типы и упаковка/распаковка данных.....	103
6.6. Управление группами ветвей и коммутаторами	108
6.7. Управление виртуальными топологиями.....	113
6.8. Удаленный доступ к памяти (односторонние взаимодействия)	117
6.9. Использование библиотеки MPPE для анализа процессов взаимодействия ветвей программы.....	125
<i>Контрольные вопросы и задания</i>	131

Рекомендуемая литература133