

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
"ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"**

Технології паралельного програмування

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК
з дисципліни**

для студентів галузі знань «12 Інформаційні технології»
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»
спеціалізації 123.02 «Системне програмування»

Видавництво "Магнолія 2006"

Львів 2024

УДК004.4(075.8)
М901

Рекомендовано Науково-методичною радою
Національного університету «Львівська політехніка»
(протокол № 73 від «28» вересня 2023 року)

Рецензенти:

Рак Т.Є., д.т.н., доцент, проректор IT Step Academy, м. Львів.

Макар І.Г., к.ф.-м.н., доцент кафедри прикладної математики, Львівський національний університет імені Івана Франка.

Бочкарьов О.Ю., к.т.н., доцент кафедри ЕОМ, Національний університет «Львівська політехніка».

ISBN 978-617-574-271-6

Муляревич О.В.

М901 Технологія паралельного програмування. Навчальний посібник: для студентів галузі знань «12 Інформаційні технології» спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» спеціалізації 123.02 «Системне програмування» Муляревич О.В.–Львів:/ Видавництво "Магнолія 2006", 2024. – 213 с.

До навчального посібника увійшли матеріали лекцій з навчальної дисципліни «**Технології паралельного програмування**», контрольні питання з завданнями для самоперевірки та прикладами розв'язків, а також термінологічний словник.

Навчальний посібник призначений для студентів спеціалізації «Системне програмування» спеціальності «Комп'ютерна інженерія» галузі знань «Інформаційні технології».

ISBN 978-617-574-271-6

© Муляревич О. В., 2024

© Видавництво "Магнолія 2006", 2024

ЗМІСТ

Передмова.....	5
РОЗДІЛ 1. Паралельні комп'ютерні системи.....	6
1.1. Паралельні обчислення: зміст і реалізація.....	6
1.2. Промислове застосування паралельності.....	7
1.3. Апаратна складова.....	9
1.4. Роль ООП в паралельних обчисленнях.....	11
1.5. Кластери та розподілена паралельність.....	12
1.6. Огляд архітектури комп'ютерних систем.....	15
1.7. Типи паралельних КС.....	17
РОЗДІЛ 2. Паралельні обчислювальні процеси в Unix-подібних ОС.....	24
2.1. Реалізація обчислювальних процесів в Unix-подібних ОС.....	24
2.2. П'ятистанова модель процесу.....	26
2.3. Розподілений простір процесів.....	29
РОЗДІЛ 3. Взаємодія обчислювальних процесів в Unix-подібних ОС.....	36
3.1. Вимоги до паралельних програм.....	36
3.2. Моделі паралельного програмування.....	39
3.3. Продуктивність паралельних обчислень.....	45
3.4. Схема взаємодії процесів за допомогою сокетів. Сокети Берклі.....	48
3.5. Комунікація між процесами.....	56
РОЗДІЛ 4. Інтерфейс прикладного програмування POSIX Threads (Pthreads).....	62
4.1. Програмні потоки (threads).....	62
4.2. Інтерфейс прикладного програмування POSIX Threads (Pthreads).....	64
4.3. Створення потоків в Unix-подібних ОС.....	65
4.4. Функції управління потоками.....	68
4.5. Функції управління атрибутами потоків.....	69
РОЗДІЛ 5. Процеси, потоки і волокна виконання в ОС Windows.....	74
5.1. Організація та взаємодія процесів в ОС Windows. Запуск та завершення виконання процесів.....	74
5.2. Запуск та завершення потоків виконання.....	78
5.3. Особливості використання волокон в ОС Windows.....	83
РОЗДІЛ 6. Інтерфейс прикладного програмування (OpenMP).....	87
6.1. Використання технології програмування OpenMP.....	87
6.2. Складові елементи технології OpenMP.....	88
6.3. OpenMP: опис паралельних частин програм.....	89
6.4. Розподіл роботи між потоками управління в OpenMP.....	90
6.5. Класи змінних OpenMP.....	93
6.6. Засоби синхронізації потоків в OpenMP.....	94
РОЗДІЛ 7. Інтерфейс передачі повідомлень (MPI).....	98
7.1. Інтерфейс прикладного паралельного програмування MPI.....	98
7.2. Основні службові функції MPI.....	99
7.3. Відправка та прийом повідомлень в MPI.....	101
7.4. Колективна взаємодія та синхронізація процесів в MPI.....	104

7.5. Робота з групами процесів в MPI.....	106
РОЗДІЛ 8. Бібліотека паралельного програмування oneTBB.....	112
8.1. Засоби паралельного програмування Threading Building Blocks від Intel.....	112
8.2. Особливості реалізації та написання програм для oneTBB.....	113
8.3. Використання репрезентацій у вигляді графу застосування засобів tbb::flow::graphdataflow.....	115
РОЗДІЛ 9. Технологія GPGPU.....	128
9.1. Основи технології GPGPU.....	128
9.2. Особливості архітектури GPU від Nvidia. Основні особливості засобів NVidia CUDA.....	131
9.3. Огляд інтерфейсу OpenACC.....	132
9.4. Особливості роботи з пам'яттю програм для CUDA.....	134
РОЗДІЛ 10. Можливості паралельного програмування стандартів C11 та C++17.....	141
10.1. Основні можливості паралельного програмування та засоби для написання паралельних програм в межах стандарту C++11.....	141
10.2. Основні можливості паралельного програмування та засоби для написання паралельних програм в межах стандарту C++17.....	148
10.3. Порівняльна характеристика засобів для написання паралельних програм між стандартами C++11, C++ 17 та C++20.....	151
РОЗДІЛ 11. Паралельне програмування в рамках концепцій GRID та CloudComputing.....	155
11.1. Архітектури КС, побудованих на базі концепції GRID, приклади, особливості.....	155
11.2. Архітектури КС, побудованих на базі концепції CloudComputing, приклади, особливості.....	158
РОЗДІЛ 12. Великі дані (Big Data). Використання Apache Hadoop для роботи з Big Data.....	164
12.1. Особливості та засоби Apache Hadoop.....	164
12.2. Модель програмування MapReduce як базис для системи обчислень в Apache Hadoop.....	168
РОЗДІЛ 13. Можливості паралельного програмування для JVM.....	173
13.1. Засоби моніторингу та синхронізації в JVM.....	173
13.2. Особливості життєвого циклу процесів (Thread) в JVM.....	176
13.3. Потокобезпечні колекції в Java	177
РОЗДІЛ 14. Можливості паралельного програмування .NET.....	189
14.1. Основні можливості паралельного програмування та засоби для написання паралельних програм в .NET.....	189
14.2. Особливості написання паралельних програм з використанням TPL.....	192
ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК.....	200

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

ТЕХНОЛОГІЇ ПАРАЛЕЛЬНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

Навчальний посібник

Підписано до друку з оригінал-макета 03.11.2023 р.
Формат 70×100 1/16 . Папір офсетний.
Друк цифровий.
Умовн. друк. арк. 17,31. Гарнітура Таймс Нью-Роман.

ПП “Магнолія 2006”
м. Львів-53, 79053, Україна, тел.+380503701957
e-mail: magnol06@ukr.net

Свідоцтво про внесення суб’єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції:
серія ДК № 2534 від 21.06.2006 року,
видане Державним комітетом інформаційної політики,
телебачення та радіомовлення України

Надруковано у друкарні видавця ФОП Марченко Т. В.