

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

# **Технології паралельного програмування**

**НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК  
з дисципліни**

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

**Видавництво "Магнолія 2006"**

**Львів**

УДК004.4(075.8)  
М901

Рекомендовано Науково-методичною радою  
Національного університету “Львівська політехніка”

**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 «Інформаційні технології» спеціальності «Комп’ютерна інженерія» спеціалізації «Системне програмування» Муляревич О.В.—Львів:/ Видавництво "Магнолія 2006" – 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.

© Видавництво "Магнолія 2006"

## ЗМІСТ

Передмова.....	5
<b>РОЗДІЛ 1. Паралельні комп'ютерні системи.....</b>	<b>6</b>
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
<b>РОЗДІЛ 2. Паралельні обчислювальні процеси в Unix-подібних ОС.....</b>	<b>24</b>
2.1. Реалізація обчислювальних процесів в Unix-подібних ОС.....	24
2.2. П'ятистанова модель процесу.....	26
2.3. Розподілений простір процесів.....	29
<b>РОЗДІЛ 3. Взаємодія обчислювальних процесів в Unix-подібних ОС.....</b>	<b>36</b>
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
<b>РОЗДІЛ 4. Інтерфейс прикладного програмування POSIX Threads (Pthreads).....</b>	<b>62</b>
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
<b>РОЗДІЛ 5. Процеси, потоки і волокна виконання в ОС Windows.....</b>	<b>74</b>
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
<b>РОЗДІЛ 6. Інтерфейс прикладного програмування (OpenMP).....</b>	<b>87</b>
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
<b>РОЗДІЛ 7. Інтерфейс передачі повідомлень (MPI).....</b>	<b>98</b>
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
<b>РОЗДІЛ 8. Бібліотека паралельного програмування oneTBB.....</b>	<b>112</b>
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
<b>РОЗДІЛ 9. Технологія GPGPU.....</b>	<b>128</b>
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
<b>РОЗДІЛ 10. Можливості паралельного програмування стандартів C11 та C++17.....</b>	<b>141</b>
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
<b>РОЗДІЛ 11. Паралельне програмування в рамках концепцій GRID та CloudComputing.....</b>	<b>155</b>
11.1. Архітектури КС, побудованих на базі концепції GRID, приклади, особливості.....	155
11.2. Архітектури КС, побудованих на базі концепції CloudComputing, приклади, особливості.....	158
<b>РОЗДІЛ 12. Великі дані (Big Data). Використання Apache Hadoop для роботи з Big Data.....</b>	<b>164</b>
12.1. Особливості та засоби Apache Hadoop.....	164
12.2. Модель програмування MapReduce як базис для системи обчислень в Apache Hadoop.....	168
<b>РОЗДІЛ 13. Можливості паралельного програмування для JVM.....</b>	<b>173</b>
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
<b>РОЗДІЛ 14. Можливості паралельного програмування .NET.....</b>	<b>189</b>
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
<b>ТЕРМІНОЛОГІЧНИЙ СЛОВНИК.....</b>	<b>200</b>

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

# ТЕХНОЛОГІЇ ПАРАЛЕЛЬНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

Навчальний посібник

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.