

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	16
<b>1. Задания для разработки параллельных программ начального уровня . . . . .</b>	<b>20</b>
Введение . . . . .	20
1.1. Задачи обработки векторов . . . . .	21
1.1.1. Суммирование элементов вектора . . . . .	22
1.1.2. Вычисление среднего значения элементов вектора . . . . .	22
1.1.3. Вычисление среднеквадратичного отклонения значений элементов вектора от среднего значения . . . . .	22
1.1.4. Нахождение максимального (минимального) значения элементов вектора . . . . .	23
1.1.5. Нахождение наиболее отличающихся (наиболее близких) по значению соседних элементов вектора . . . . .	23
1.1.6. Нахождение количества неупорядоченных соседних элементов вектора . . . . .	23
1.1.7. Проверка доминирования двух векторов . . . . .	23
1.1.8. Скалярное произведение векторов . . . . .	24
1.2. Задачи обработки матриц . . . . .	24
1.2.1. Суммирование элементов матрицы . . . . .	24
1.2.2. Нахождение максимального (минимального) значения элементов матрицы . . . . .	25
1.2.3. Нахождение суммы элементов по строкам (столбцам) матрицы . . . . .	25
1.2.4. Нахождение максимальных (минимальных) значений по строкам (столбцам) матрицы . . . . .	25
1.3. Задачи численного интегрирования . . . . .	26
1.3.1. Метод прямоугольников . . . . .	26
1.3.2. Метод трапеций . . . . .	27
1.4. Задачи обработки строк . . . . .	27
1.4.1. Подсчет частоты повторения символов . . . . .	28
1.4.2. Шифрование . . . . .	28
1.4.3. Подсчет числа повторения слов . . . . .	29
1.4.4. Подсчет числа несовпадающих символов . . . . .	29
1.4.5. Проверка лексикографической упорядоченности . . . . .	29

---

<b>2. Параллельное выполнение потоков и процессов</b> . . . . .	30
Введение . . . . .	30
2.1. Выполнение потоков в многозадачной среде . . . . .	30
2.2. Необходимость синхронизации . . . . .	36
2.3. Классические задачи синхронизации . . . . .	39
2.3.1. Задача «Производители–Потребители» . . . . .	39
2.3.2. Задача «Читатели–Писатели» . . . . .	42
2.3.3. Задача «Обедающие философы» . . . . .	43
2.3.4. Задача «Спящий парикмахер» . . . . .	45
2.4. Дополнительные постановки задач . . . . .	46
2.4.1. Создание процессов и потоков в ОС Windows . . . . .	46
2.4.2. Создание процессов в ОС UNIX . . . . .	48
2.4.3. Построение диаграмм выполнения потоков . . . . .	49
2.4.4. Использование неименованных каналов . . . . .	51
2.4.5. Использование именованных каналов . . . . .	51
2.4.6. Использование файлов, отображаемых в память . . . . .	52
2.4.7. Использование разделяемой памяти . . . . .	53
2.4.8. Использование очереди сообщений в ОС UNIX . . . . .	55
2.4.9. Решение задачи «Читатели–Писатели» . . . . .	56
2.4.10. Решение задачи «Производители–Потребители» . . . . .	57
<b>3. Методы передачи сообщений</b> . . . . .	59
Введение . . . . .	59
3.1. Операции передачи данных . . . . .	60
3.2. Операции передачи данных между двумя процессорами . . . . .	62
3.3. Реализация коллективных операций передачи сообщений . . . . .	64
3.3.1. Постановка задачи . . . . .	64
3.3.2. Методы решения . . . . .	64
3.3.3. Программная реализация операций передачи сообщений . . . . .	67
3.4. Требования к выполнению работы . . . . .	69
3.5. Задания для разработки . . . . .	70
3.6. Пример постановки задачи . . . . .	71
3.6.1. Условие . . . . .	71
3.6.2. Требования . . . . .	71
3.6.3. Проверка корректности . . . . .	72

---

<b>4. Тесты производительности</b> . . . . .	73
Введение . . . . .	73
4.1. Способы тестирования . . . . .	74
4.2. Linpack benchmark . . . . .	76
4.2.1. История теста . . . . .	76
4.2.2. Решаемая задача . . . . .	78
4.2.3. Использование теста . . . . .	79
4.3. NAS Parallel Benchmarks . . . . .	85
4.3.1. История теста . . . . .	85
4.3.2. Решаемая задача . . . . .	86
4.3.3. Использование теста . . . . .	89
4.4. Тесты НИВЦ МГУ . . . . .	91
4.4.1. История теста . . . . .	91
4.4.2. Решаемая задача . . . . .	92
4.4.3. Использование теста . . . . .	92
4.5. Задания для самостоятельной работы . . . . .	95
4.5.1. Измерение производительности одиночного узла с использованием теста Linpack . . . . .	95
4.5.2. Измерение общей производительности системы из 4-х узлов с использованием теста Linpack . . . . .	95
4.5.3. Измерение производительности одиночного компьютера с помощью теста производительности NAS Parallel Benchmark . . . . .	96
4.5.4. Измерение общей производительности системы из 4-х узлов с помощью теста производительности NAS Parallel Benchmark . . . . .	96
4.5.5. Измерение параметров сети передачи данных с помощью теста НИВЦ МГУ . . . . .	97
<b>5. Матричные вычисления</b> . . . . .	98
Введение . . . . .	98
5.1. Способы хранения матриц . . . . .	98
5.1.1. Плотный формат . . . . .	98
5.1.2. Координатный формат . . . . .	98
5.1.3. Упакованный строчный формат . . . . .	99
5.1.4. Упакованный столбцовый формат . . . . .	100
5.2. Способы распараллеливания матричных вычислений . . . . .	101
5.2.1. Ленточное разбиение матрицы . . . . .	101
5.2.2. Блочное разбиение матрицы . . . . .	102

---

5.3. Умножение матрицы на вектор . . . . .	103
5.3.1. Постановка задачи . . . . .	103
5.3.2. Методы решения . . . . .	103
5.3.3. Требования к выполнению работы . . . . .	104
5.3.4. Задания для разработки . . . . .	104
5.4. Умножение матриц . . . . .	105
5.4.1. Постановка задачи . . . . .	105
5.4.2. Методы решения . . . . .	105
5.4.3. Алгоритм Фокса . . . . .	106
5.4.4. Требования к выполнению работы . . . . .	107
5.4.5. Задания для разработки . . . . .	107
5.5. Пример постановки задачи . . . . .	109
5.5.1. Условие . . . . .	109
5.5.2. Требования . . . . .	109
5.5.3. Проверка корректности . . . . .	110
5.5.4. Возможный вариант кода . . . . .	110
<b>6. Интерполяция и аппроксимация функций . . . . .</b>	<b>111</b>
Введение . . . . .	111
6.1. Способы хранения данных . . . . .	111
6.2. Способы распараллеливания . . . . .	111
6.3. Интерполяция функций . . . . .	112
6.3.1. Постановка задачи . . . . .	112
6.3.2. Методы решения . . . . .	112
6.3.3. Требования к выполнению работы . . . . .	113
6.3.4. Задания для разработки . . . . .	113
6.4. Аппроксимация функций . . . . .	114
6.4.1. Постановка задачи . . . . .	114
6.4.2. Метод наименьших квадратов . . . . .	114
6.4.3. Требования к выполнению работы . . . . .	116
6.4.4. Задания для разработки . . . . .	116
6.5. Пример постановки задачи интерполяции . . . . .	117
6.5.1. Условие . . . . .	117
6.5.2. Требования . . . . .	117
6.5.3. Проверка корректности . . . . .	118
6.5.4. Возможный вариант кода . . . . .	118
6.6. Пример постановки задачи аппроксимации . . . . .	119
6.6.1. Условие . . . . .	119

---

6.6.2. Требования . . . . .	119
6.6.3. Проверка корректности . . . . .	119
6.6.4. Возможный вариант кода . . . . .	120
<b>7. Численное интегрирование . . . . .</b>	<b>121</b>
Введение . . . . .	121
7.1. Способы хранения данных . . . . .	122
7.2. Способы распараллеливания . . . . .	122
7.2.1. Разбиение области интегрирования по строкам/столбцам . . . . .	123
7.2.2. Разбиение области интегрирования на блоки . . . . .	123
7.3. Вычисление двумерного интеграла . . . . .	124
7.3.1. Постановка задачи . . . . .	124
7.3.2. Метод решения . . . . .	124
7.3.3. Требования к выполнению работы . . . . .	126
7.3.4. Задания для разработки . . . . .	127
7.4. Пример постановки задачи . . . . .	127
7.4.1. Условие . . . . .	127
7.4.2. Требования . . . . .	128
7.4.3. Проверка корректности . . . . .	128
7.4.4. Возможный вариант кода . . . . .	128
<b>8. Сортировка . . . . .</b>	<b>129</b>
Введение . . . . .	129
8.1. Способы хранения данных . . . . .	130
8.2. Способы распараллеливания . . . . .	130
8.3. Схемы параллельного слияния . . . . .	130
8.3.1. Простое слияние . . . . .	130
8.3.2. Четно-нечетное слияние Бэтчера . . . . .	131
8.3.3. Слияние «Разделяй и властвуй» . . . . .	131
8.4. Задания для разработки . . . . .	132
8.5. Пример постановки задачи . . . . .	133
8.5.1. Условие . . . . .	133
8.5.2. Требования . . . . .	133
8.5.3. Проверка корректности . . . . .	134
8.5.4. Возможный вариант кода . . . . .	134
<b>9. Алгоритмы на графах . . . . .</b>	<b>137</b>
Введение . . . . .	137
9.1. Способы хранения данных . . . . .	138

---

9.2. Способы распараллеливания . . . . .	140
9.3. Поиск в ширину . . . . .	142
9.3.1. Постановка задачи . . . . .	142
9.3.2. Параллельные алгоритмы . . . . .	142
9.4. Задача нахождения минимального остовного дерева . . . . .	143
9.4.1. Постановка задачи . . . . .	143
9.4.2. Алгоритм Прима . . . . .	144
9.4.3. Параллельный алгоритм Прима . . . . .	145
9.5. Задача поиска кратчайших путей из одной вершины . . . . .	146
9.5.1. Постановка задачи . . . . .	146
9.5.2. Алгоритм Дейкстры . . . . .	147
9.5.3. Параллельный алгоритм Дейкстры . . . . .	148
9.5.4. Алгоритм дельта-шага . . . . .	149
9.5.5. Требования к выполнению работы . . . . .	151
9.6. Задания для разработки . . . . .	151
9.7. Пример постановки задачи . . . . .	152
9.7.1. Условие . . . . .	152
9.7.2. Требования . . . . .	152
9.7.3. Проверка корректности . . . . .	153
9.7.4. Возможный вариант кода . . . . .	153
<b>10. Решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений . . . . .</b>	<b>156</b>
Введение . . . . .	156
10.1. Способы хранения данных . . . . .	156
10.2. Способы распараллеливания . . . . .	157
10.3. Решение систем обыкновенных дифференциальных уравнений . . . . .	157
10.3.1. Постановка задачи . . . . .	157
10.3.2. Методы решения . . . . .	159
10.3.3. Распараллеливание решения системы уравнений . . . . .	161
10.3.4. Требования к выполнению работы . . . . .	162
10.3.5. Задания для разработки . . . . .	163
10.4. Пример постановки задачи . . . . .	163
10.4.1. Условие . . . . .	163
10.4.2. Требования . . . . .	163
10.4.3. Проверка корректности . . . . .	164
10.4.4. Возможный вариант кода . . . . .	164

---

<b>11. Дифференциальные уравнения в частных производных</b>	165
Введение . . . . .	165
11.1. Способы хранения данных . . . . .	165
11.2. Способы распараллеливания . . . . .	166
11.3. Численное решение задачи Дирихле для уравнения Пуассона	166
11.3.1. Постановка задачи . . . . .	166
11.3.2. Методы решения . . . . .	167
11.3.3. Волновая схема обработки данных . . . . .	168
11.3.4. Требования к выполнению работы . . . . .	170
11.3.5. Задания для разработки . . . . .	171
11.4. Пример постановки задачи . . . . .	171
11.4.1. Условие . . . . .	171
11.4.2. Требования . . . . .	172
11.4.3. Проверка корректности . . . . .	172
11.4.4. Возможный вариант кода . . . . .	173
<b>12. Методы глобальной оптимизации</b>	174
Введение . . . . .	174
12.1. Способы хранения данных . . . . .	174
12.2. Способы распараллеливания . . . . .	175
12.3. Задача липшицевой глобальной оптимизации . . . . .	176
12.3.1. Постановка задачи . . . . .	176
12.3.2. Методы решения . . . . .	177
12.3.3. Алгоритм глобального поиска (АГП) . . . . .	178
12.3.4. Распараллеливание глобального поиска по характе- ристам . . . . .	179
12.3.5. Требования к выполнению работы . . . . .	180
12.3.6. Задания для разработки . . . . .	180
12.4. Пример постановки задачи . . . . .	181
12.4.1. Условие . . . . .	181
12.4.2. Требования . . . . .	181
12.4.3. Проверка корректности . . . . .	181
12.4.4. Возможный вариант кода . . . . .	181
<b>13. Методы Монте-Карло</b>	186
Введение . . . . .	186
13.1. Генерация случайных чисел . . . . .	187
13.1.1. Генераторы псевдослучайных чисел . . . . .	188

---

13.1.2. Генераторы квазислучайных чисел на примере генератора Соболя . . . . .	190
13.1.3. Моделирование распределений с заданными свойствами . . . . .	191
13.2. Вопросы использования генераторов в параллельных вычислениях. Распараллеливание метода Монте-Карло . . . . .	192
13.2.1. Метод «мастер-рабочий» . . . . .	192
13.2.2. Метод с перешагиванием (leapfrog) . . . . .	193
13.2.3. Разделение последовательности (skearahead) . . . . .	194
13.2.4. Параметризация . . . . .	195
13.2.5. Распараллеливание методов Монте-Карло и вопросы производительности . . . . .	195
13.3. Разработка генератора равномерного распределения . . . . .	197
13.3.1. Постановка задачи . . . . .	197
13.3.2. Методы решения . . . . .	197
13.3.3. Требования к выполнению работы . . . . .	198
13.3.4. Задания для разработки . . . . .	198
13.3.5. Дополнительные задания по теме «генераторы случайных чисел» . . . . .	198
13.4. Нахождение цены опциона европейского типа методом Монте-Карло . . . . .	199
13.4.1. Постановка задачи . . . . .	199
13.4.2. Методы решения . . . . .	201
13.4.3. Интегрирование по методу Монте-Карло . . . . .	202
13.4.4. Распараллеливание вычислений . . . . .	203
13.4.5. Требования к выполнению работы . . . . .	204
13.4.6. Задания для разработки . . . . .	204
13.5. Пример постановки задачи . . . . .	205
13.5.1. Условие . . . . .	205
13.5.2. Требования . . . . .	205
13.5.3. Проверка корректности . . . . .	206
13.5.4. Возможный вариант кода . . . . .	206
<b>14. Вычислительная геометрия . . . . .</b>	<b>209</b>
Введение . . . . .	209
14.1. Способы хранения данных . . . . .	209
14.2. Способы распараллеливания . . . . .	210
14.3. Задача построения выпуклой оболочки точек на плоскости . . . . .	210
14.3.1. Постановка задачи . . . . .	210
14.3.2. Методы решения . . . . .	210



---

14.3.3. Алгоритм Препараты–Хонга . . . . .	211
14.3.4. Алгоритм Киркпатрика–Зейделя . . . . .	212
14.3.5. Алгоритм Quickhull . . . . .	213
14.3.6. Распараллеливание алгоритмов построения выпуклой оболочки . . . . .	214
14.3.7. Требования к выполнению работы . . . . .	215
14.3.8. Задания для разработки . . . . .	215
14.4. Пример постановки задачи . . . . .	215
14.4.1. Условие . . . . .	215
14.4.2. Требования . . . . .	215
14.4.3. Проверка корректности . . . . .	216
14.4.4. Возможный вариант кода . . . . .	216
<b>15. Машинная графика и обработка изображений . . . . .</b>	<b>219</b>
Введение . . . . .	219
15.1. Цветовые режимы представления изображений . . . . .	220
15.2. Способы распараллеливания операций обработки изображе- ний . . . . .	220
15.2.1. Попиксельные операции над изображениями . . . . .	220
15.2.2. Попиксельные операции с учетом окрестности точки . . . . .	221
15.2.3. Глобальные операции над изображением . . . . .	221
15.2.4. Операции с элементами сцены на изображении . . . . .	221
15.3. Линейная фильтрация полутонового изображения . . . . .	222
15.3.1. Постановка задачи . . . . .	222
15.3.2. Методы решения . . . . .	224
15.3.3. Требования к выполнению работы . . . . .	224
15.3.4. Задания для разработки . . . . .	225
15.4. Пример постановки задачи . . . . .	228
15.4.1. Условие . . . . .	228
15.4.2. Требования . . . . .	228
15.4.3. Проверка корректности . . . . .	229
15.4.4. Возможный вариант кода . . . . .	229
<b>16. Система автоматизированной проверки SoftGrader . . . . .</b>	<b>231</b>
Введение . . . . .	231
16.1. Общие возможности системы SoftGrader . . . . .	232
16.2. Подготовка курса в системе SoftGrader . . . . .	236
Основная литература . . . . .	238
Дополнительная литература . . . . .	239