
С.А. Степаненко

МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫЕ
СРЕДЫ СУПЕРЭВМ

МАСШТАБИРОВАНИЕ
ЭФФЕКТИВНОСТИ



С.А. Степаненко

МУЛЬТИПРОЦЕССОРНЫЕ СРЕДЫ СУПЕРЭВМ

МАСШТАБИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ



МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ®
2016

УДК 004.272: 004.382.2

ББК 32.973

С 79

Степаненко С. А. **Мультипроцессорные среды суперЭВМ. Масштабирование эффективности.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. — 312 с. — ISBN 978-5-9221-1690-9.

В монографии «Мультипроцессорные среды суперЭВМ. Масштабирование эффективности» изложены методы создания мультипроцессорных сред с наперед заданными значениями основных параметров, в частности производительности, эффективности, надежности.

Книга адресована специалистам, разрабатывающим сложные вычислительные системы, а также студентам и аспирантам соответствующих специальностей.

ISBN 978-5-9221-1690-9

© ФИЗМАТЛИТ, 2016

© С. А. Степаненко, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	8
Реферат	10
Список иллюстраций	11
Определения, обозначения и сокращения	15
Введение	19
Глава 1. Мультипроцессорные среды. Определения, классификация. Задачи анализа и синтеза	29
1.1. Типы мультипроцессорных сред	29
1.2. Классы MIMD-сред	30
1.3. Структура процессорного элемента	31
1.4. Параметры мультипроцессорных сред. Задачи анализа	34
1.4.1. Аппаратная и метрическая сложности	34
1.4.2. Эффективность мультипроцессорных сред	35
1.4.3. Масштабируемость (кластеризация) мультипроцессорных сред. Внешние обмены	37
1.4.4. Сложность маршрутизации и коммуникационные параметры	38
1.4.5. Надежность мультипроцессорных сред	39
1.5. Синтез мультипроцессорных сред	41
1.5.1. Архитектурные средства масштабирования эффективности	41
1.5.2. Прогнозирование эффективности и производительности	43
1.5.3. Рекурсивные мультипроцессорные среды	44
Выводы к главе 1	46
Глава 2. Конструктивные параметры мультипроцессорных сред	47
2.1. Топологии мультипроцессорных сред. Оценки элементарной аппаратной сложности	47
2.2. Конструктивная реализация мультипроцессорных сред. Оценки конструктивной аппаратной сложности	51
2.3. Метрическая сложность мультипроцессорных сред	57
2.4. Примеры конструктивной реализации мультипроцессорных сред	63

2.4.1. Конструктивные уровни и структура соединений	64
2.4.2. Оценки параметров коммуникационной среды	64
Выводы к главе 2	68
Глава 3. Структуры и производительность процессорных элементов. Оценки ускорения вычислений	69
3.1. Дисциплины вычислений и структуры гибридных вычислителей	69
3.2. Коэффициенты ускорения вычислений гетерогенным реконфигурируемым вычислителем.	72
3.3. Оценки длительностей вычислений гибридными статическими вычислителями	73
3.3.1. Первичные параметры вычислительного процесса	73
3.3.2. Режим умножения	75
3.3.3. Режим деления	75
3.4. Коэффициенты ускорения вычислений гибридными статическими вычислителями	76
3.4.1. Значения коэффициентов ускорения в режиме умножения	76
3.4.2. Значения коэффициентов ускорения в режиме деления	78
3.4.3. Сводка результатов. Иллюстрации	80
3.5. Эффект реконфигурации	82
3.5.1. Метод декомпозиции структуры гибридного вычислителя	82
3.5.2. Балансировка вычислительного процесса	87
3.5.3. Примеры декомпозиции и балансировки вычислений	88
3.6. Коэффициенты ускорения вычислений мультипроцессорными гетерогенными реконфигурируемыми средами.	91
Выводы к главе 3	94
Глава 4. Эффективность мультипроцессорных сред и длительности обменов информацией	95
4.1. Этапы обмена информацией. Условия совмещения этапов.	95
4.2. Длительности выполнения простейших обменов	99
4.3. Базисное множество операций обменов	101
4.4. Оценки временной сложности алгоритмов глобальных обменов	104
Выводы к главе 4	114
Глава 5. Кластерные среды. Внешние обмены	115
5.1. Необходимость применения кластеров. Уровни кластерных сред	115
5.2. Алгоритмы базисного множества на кластерных средах	116

5.2.1. Однородные кластерные среды	116
5.2.2. Двухточечный механизм связи	117
5.2.3. Полноразмерная связь	121
5.3. Взаимодействие мультипроцессорных сред с общей внешней памятью	123
5.4. Обмен информацией между мультипроцессорной средой и внешней машиной	127
Выводы к главе 5	130
Глава 6. Коммуникационные параметры мультипроцессорных сред	131
6.1. Маршрутизация сообщений	131
6.2. Оценки количества маршрутов фиксированной длины	133
6.3. Бесконфликтные множества	137
6.4. Управление выполнением алгоритмов обменов. Событийная синхронизация	146
Выводы к главе 6	150
Глава 7. Надежность мультипроцессорных сред	151
7.1. Средства достижения надежности. Необходимость их применения	151
7.2. Топологическое резервирование H -гиперкуба	152
7.2.1. Метод резервирования	152
7.2.2. Оценки вероятностей резервирования. Резервирование других топологий	156
7.3. Избирательное резервирование мультипроцессорной среды с топологией гиперкуб	162
7.3.1. Метод резервирования	162
7.3.2. Оценки вероятностей выполнения вычислительного процесса	167
7.3.3. Избирательное резервирование и оценки вероятностей выполнения вычислительных процессов для сред с топологией $1D$, $2D$, $3D$, F и N	169
7.4. Примеры реализации мультипроцессорных сред	179
Выводы к главе 7	184
Глава 8. Архитектурные средства масштабирования эффективности	185
8.1. Архитектурные средства минимизации длительностей обменов информацией	185
8.1.1. Формализация задачи масштабирования эффективности	185
8.1.2. Бесконфликтные множества	187

8.1.3. Декомпозиция и размещение процессов	189
8.1.4. Результаты экспериментов по масштабированию эффективности	193
8.2. Отказоустойчивое масштабирование эффективности	195
8.2.1. Топологическое резервирование избыточными элементами	196
8.2.2. Избирательное топологическое резервирование	199
Выводы к главе 8	205
Глава 9. Прогнозирование значений производительности и эффективности мультипроцессорных сред	206
9.1. Эффективность среды. Баланс длительности выполнения обменов и арифметической производительности.	206
9.2. Метод прогнозного расчета эффективности мультипроцессорной среды.	208
9.3. Применение метода для расчета производительности и эффективности однородных сред	211
9.3.1. Расчет среды с топологией Dragonfly	211
9.3.2. Расчет среды с топологией гиперкуб	214
9.4. Применение метода для расчета производительности и эффективности неоднородных и гибридных сред	216
9.5. Пример прогнозного расчета значений параметров неоднородной среды	218
Выводы к главе 9	221
Глава 10. Рекурсивные мультипроцессорные среды. Оценки ускорения вычислений.	222
10.1. Определения и классификация рекурсивных сред	222
10.2. Оценки коэффициентов ускорения вычислений рекурсивными статическими гибридными мультипроцессорными средами	225
10.2.1. Рекурсивные MIMD-среды	225
10.2.2. Рекурсивные SIMD-среды	230
10.2.3. Рекурсивные MIMD/SIMD-среды	234
10.3. Оценки коэффициентов ускорения вычислений рекурсивными реконфигурируемыми средами	237
10.3.1. Оценки коэффициентов ускорения рекурсивными реконфигурируемыми средами общего назначения	237
10.3.2. Оценки коэффициентов ускорения рекурсивными гетерогенными реконфигурируемыми средами	239
10.4. Особенности реализации рекурсивных сред и рекурсивных вычислительных процессов. Квантовые барьеры.	242
Выводы к главе 10	244
Заключение.	245

Приложение А. Оценка максимального коэффициента ускорения	251
А.1. Оценка оптимального значения ν	251
А.2. Оценка максимального значения коэффициента ускорения $K_{q,r}^{\max}$	252
Приложение Б. Алгоритмы глобальных обменов на средах с буферизацией сообщений	253
Б.1. Среда $1D$ -тор	253
Б.2. Среда $2D$ -тор	254
Б.3. Среда $3D$ -тор	255
Б.4. Среда S	255
Б.5. Среда H -гиперкуб	255
Б.5.1. Определения, алгоритм A_{ω}^{ω}	255
Б.5.2. Алгоритм A_{ω}^{ω} для Γ^3	261
Б.5.3. Алгоритм A_{ω}^{ω} на Γ^7	263
Б.5.4. Алгоритмы $A_{\omega}^1, A_{\omega}^s, A_1^{\omega}, A_{\omega}^T$ на среде Γ^7	266
Приложение В. Алгоритмы глобальных обменов на средах с коммутацией каналов; двухточечная связь	269
В.2. Среда $2D$ -тор	270
В.3. Среда $3D$ -тор	272
В.4. Среда H^7	274
В.5. Среда N	277
В.6. Среда F	280
Приложение Г. Алгоритмы глобальных обменов на средах с коммутацией каналов; полноразмерная связь	286
Г.1. Среда $1D$ -тор	286
Г.2. Среда $2D$ -тор	287
Г.3. Среда $3D$ -тор	288
Г.4. Среда H^n	292
Приложение Д. Распределение связей для векторов кода Хэмминга	293
Список литературы	298
Предметный указатель	305