

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1	
ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О РАБОТЕ.....	10
1.1. Обзор стандартной архитектуры современных компьютеров.....	10
1.2. CPU, потоки исполнения, планирование исполнения и контекстные переключения, interconnect.....	12
1.3. Связность памяти и разные типы многопроцессорных систем (SMP, NUMA), ее влияние на работу программ.....	14
1.4. Кэши процессора и их взаимные отношения. Фальшивое разделение..	15
1.5. Система команд.....	24
1.6. Упорядоченность операций, видимость результатов операции, и неопределенность последовательности записи-чтения данных (relaxed memory consistency). Ключ volatile.....	25
1.7. Атомарность операции, атомарное чтение и запись.....	33
1.8. Атомарные примитивы, используемые для организации процедур синхронизации.....	35
1.9. Языки программирования и работа порожденного кода в условиях современных многопоточных систем с разделяемой памятью.....	36
1.10. Причины условий гонок (race conditions) и других проблем параллельного программирования с точки зрения оборудования.....	39
1.11. Модель программирования и синхронизации, встроенная в язык (Java, C). Потоки, «безопасность для исполнения в параллельных потоках», локальные объекты потока и др.....	41
1.11.1. Компилируемые языки типа C/C++/ObjectiveC (41) 1.11.2. Языки с байт-кодом типа JAVA и C# (42)	
1.12. Уровни абстракции, которыми мыслит программист, и корректность программы.....	44
1.13. О времени и... квантовой физике.....	46
1.14. Временные отметки.....	48
1.14.1. Простые временные отметки (48) 1.14.2. Ограниченные во времени отметки времени (50)	
1.15. О вероятностях и ошибках.....	53

ГЛАВА 2

РАБОТА С РАЗДЕЛЯЕМОЙ ПАМЯТЬЮ..... 56

2.1. Проблемы, возникающие при работе с разделяемой памятью 56

2.1.1. Общие проблемы параллельного программирования (56) 2.1.2. Проблемы, специфичные для разделяемой памяти (57)

2.2. Разделяемые объекты и синхронизация 59

2.2.1. Явная синхронизация (60) 2.2.2. Синхронизация выполнения кода и

синхронизация обращения к данным (61) 2.2.3. Неявная синхронизация (62)

2.2.4. Ошибка АВА (63) 2.2.5. Синхронизация путем обеспечения условий неиз-

менности (66) 2.2.6. Ожидание (66) 2.2.7. Композиция: «сборка» более сложных объектов синхронизации из более простых (68)

2.3. Проблемы стандартных средств организации параллельного доступа .. 69

2.3.1. Проблемы стандартных блокировок (70) 2.3.2. Проблемы примитивов типа

Compare-And-Set (CAS) (71) 2.3.3. Проблемы с композицией примитивов (71)

ГЛАВА 3

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ПОНЯТИЙ..... 73

3.1. Формальные свойства и состояния соисполняющихся потоков 73

3.2. Формальные свойства соисполняющихся объектов 78

3.3. Формальное описание с использованием понятия «история» 82

3.4. Линеаризация истории 84

3.5. Свободные от ожидания алгоритмы + условные примитивы = идеал?.. 88

3.6. Условный прогресс 89

ГЛАВА 4

ЗАДАЧА О КОНСЕНСУСЕ (СОГЛАСИИ)..... 93

4.1. Использование примитивов синхронизации для решения задачи консенсуса 94

4.1.1. Технология доказательств, использующая понятие «валентностей» (94)

4.1.2. Некоторые свободные от блокировок соисполняемые примитивы и их число консенсуса (96) 4.1.3. Эквивалентность примитивов с одинаковым числом кон-

сенсуса (104) 4.1.4. Невозможность синхронизации при использовании только

атомарных чтения и записи (105) 4.1.5. Невозможность улучшения числа консен-

суса путем комбинирования (108) 4.1.6. Обобщение консенсуса, или соглашение

для k -набора (109) 4.1.7. Алгоритм «булочной» Лампорта (110)

4.2. Консенсус в системе со сбоями 112

4.3. Доказательство теоремы о невозможности консенсуса 114

ГЛАВА 5

НЕБЛОКИРУЮЩИЕ АЛГОРИТМЫ..... 121

- 5.1. Некоторые идеи, лежащие в основе реализаций неблокирующих алгоритмов..... 123
- 5.2. Обзор некоторых неблокирующих алгоритмов..... 125
- 5.2.1. Структуры, используемые в ядре Linux (2.6) (125) 5.2.2. Списки, стеки, очереди (137) 5.2.3. Алгоритмы без использования блокирующих шин инструкций (141) 5.2.4. Транзакционная память (145) 5.2.5. Список с пропусками (skip list) (153) 5.2.6. Неблокирующая таблица с открытой адресацией (156)
- 5.3. Использование машин с конечными состояниями для неблокирующих алгоритмов..... 162
- 5.3.1. Разработка неблокирующих алгоритмов как конечных автоматов (163)

ГЛАВА 6

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ, РАБОТАЮЩИХ НА РАЗДЕЛЯЕМОЙ ПАМЯТИ, ПРИ ПОМОЩИ ГРАФОВ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛНЕНИЯ 170

- 6.1. Случай двух потоков..... 173
- 6.2. Несколько примеров анализа по предложенной методике..... 179
- 6.3. Ветвления..... 186
- 6.4. Циклы..... 188
- 6.5. Расширенная модель и алгоритм анализа..... 189
- 6.5.1. Обозначение на рисунках и схемах (190)
- 6.6. Доказательство корректности подхода..... 193

ЛИТЕРАТУРА..... 201**ПРИЛОЖЕНИЕ..... 206**