

М. К. БУЗА

Архитектура КОМПЬЮТЕРОВ

*Утверждено
Министерством образования
Республики Беларусь
в качестве учебника для студентов
учреждений высшего образования
по специальностям «Информатика»,
«Прикладная информатика»,
«Прикладная математика»*



Минск
«Вышэйшая школа»
2015

Буза, М. К. Архитектура компьютеров : учебник для вузов / М. К. Буза. — Минск : Вышэйшая школа, 2015. — 413, [1] с. : ил., табл. — Библиография : с. 407—408.

УДК [004.2 + 004.3](075.8)

ББК 32

Ч/З №1 — 1 экз.

Учебник подготовлен в полном соответствии с учебной программой дисциплины «Архитектура компьютеров» для учреждений высшего образования. Содержит сведения о последних достижениях в области архитектур вычислительных систем (компьютеров), в том числе многоядерных, графических и квантовых процессоров.

Актуальность книги обусловлена отсутствием соответствующей отечественной учебной литературы в данной предметной области.

Для студентов учреждений высшего образования, специализирующихся в области системного программирования, разработки эффективных программных проектов, особенно операционных систем. Может быть использован разработчиками новых архитектурных решений. Отдельные главы будут полезны специалистам, работающим в смежных областях информатики, главная цель которых — проектирование эффективных приложений в собственной предметной области.

СОДЕРЖАНИЕ

Список основных сокращений	3
Предисловие	5
Введение	7
1. ПОНЯТИЕ АРХИТЕКТУРЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ	12
1.1. Вычисления в компьютерах	13
1.2. Архитектура как набор взаимодействующих компонент	18
1.3. Архитектура как интерфейс между уровнями физической системы	23
1.4. Особенности проектирования программной архитектуры	26
1.5. Семантический разрыв	30
1.6. Анализ архитектурных принципов фон Неймана	34
1.7. Способы совершенствования архитектуры	36
1.7.1. Хранение информации в виде самоопределяемых данных	36
1.7.2. Области санкционированного доступа	37
1.7.3. Одноуровневая память	38
1.8. RISC- и CISC-архитектуры	39
1.8.1. Основные принципы RISC-архитектуры	40
1.8.2. Отличительные черты RISC- и CISC-архитектур	40
1.8.3. Проблемы реализации RISC-процессоров	42
1.9. Функционирование управляющего компьютера	45
<i>Вопросы и задания</i>	47
2. КОНВЕЙЕРИЗАЦИЯ	48
2.1. Конвейерная обработка	48
2.2. Классификация конфликтов по данным	50
2.3. Предикация	53
2.4. Конвейерные системы	58
<i>Вопросы и задания</i>	60
3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПАМЯТИ	61
3.1. Иерархия памяти	61
3.2. Регистровая память	62
3.3. Организация кэш-памяти	63
3.3.1. Принципы создания кэш-памяти	66
3.3.2. Простейшая кэш-память	66
3.4. Концепция виртуальной памяти	70
3.4.1. Задачи, решаемые виртуальной памятью	70
3.4.2. Страничная организация памяти	71
3.5. Оперативные и постоянные запоминающие устройства	74
3.6. Консистентность данных в вычислительных системах	79
3.7. Дополнительная память	85
3.8. Управление памятью	87
<i>Вопросы и задания</i>	91

4. КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ	92
4.1. Эталонная модель сети	94
4.2. Топология локальных сетей	97
4.3. Различные типы шин. Микросхемы процессоров и шины	102
4.4. Простое средство связи в сетях (шина)	108
4.4.1. Связь компьютера с периферийными устройствами	108
4.4.2. Взаимодействие двух компьютеров	110
4.4.3. Объединение нескольких компьютеров. Характеристики линии передачи данных	112
4.5. Сетевые технологии (Lan/Wan)	116
4.5.1. Подключение сетевых компонентов	116
4.5.2. Сетевой адаптер	120
4.5.3. Модель IEEE «Project 802»	121
4.5.4. Глобальные сети	122
<i>Вопросы и задания</i>	123
5. КОДИРОВАНИЕ ДАННЫХ В КОМПЬЮТЕРАХ	124
5.1. Система двоичного кодирования	124
5.2. Кодирование текстовых данных	124
5.3. Кодирование графической информации	126
5.4. Кодирование звуковой информации	127
5.5. Формы чисел с фиксированной и плавающей точкой	128
5.6. Помехозащищенные коды	130
5.6.1. Код «2 из 5»	132
5.6.2. Коды Хемминга	132
5.6.3. Коды Рида – Соломона	134
5.6.4. Контроль по модулю	134
5.6.5. Сравнительные характеристики корректирующих кодов	136
5.7. Кодирование данных с симметричным представлением цифр	140
5.8. Кодирование данных в системах с отрицательным основанием	142
5.9. Кодирование данных с помощью вычетов	147
5.10. Стандарт IEEE 754	154
5.11. Особенности вычислений с числами конечной точности	156
<i>Вопросы и задания</i>	157
6. МИКРОПРОЦЕССОРЫ	158
6.1. Методы адресации и типы команд	159
6.2. Компьютеры со стековой архитектурой	160
6.3. Процессоры с микропрограммным управлением	164
6.3.1. Горизонтальное микропрограммирование	165
6.3.2. Вертикальное микропрограммирование	167
6.4. Процессоры с архитектурой 80x86 и «Pentium»	168
6.5. Особенности процессоров с архитектурой SPARC компании «Sun Microsystems»	172
6.6. Процессоры PA-RISC компании «Hewlett Packard»	178
6.7. Процессор MC 88110 компании «Motorola»	182
6.8. Архитектура MIPS компании «MIPS Technology»	184
6.9. Особенности архитектуры «Alpha» компании DEC	187

6.10. Особенности архитектуры «Power»	191
6.11. Многоядерные процессоры	198
6.11.1. Варианты создания многоядерных систем	199
6.11.2. Особенности архитектурных решений «Nureg Transport»	201
6.11.3. Асимметричная многоядерная архитектура	202
6.12. Графические процессоры	204
6.12.1. Принцип работы графического процессора	205
6.12.2. Недостатки графического конвейера	206
6.12.3. Унифицированный потоковый процессор	209
6.12.4. Использование графического процессора для общих вычислений	215
6.12.5. Параллельные вычисления на CPU и GPU	217
6.12.6. Программирование CUDA	218
6.13. Квантовые процессоры	219
6.13.1. Квантовая схема	221
6.13.2. Применение квантовых компьютеров	223
<i>Вопросы и задания</i>	225
7. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОЦЕССОВ И УПРАВЛЕНИЕ ИМИ	226
7.1. Понятие процесса и состояния	226
7.2. Графическое представление процессов	228
7.3. Управление процессами в многопроцессорном компьютере	230
7.4. Управление процессами в однопроцессорном компьютере	231
7.5. Форматы таблиц процессов	232
7.6. Синхронизация процессов	233
7.7. Операции P и V над семафорами	234
7.8. Почтовые ящики	235
7.9. Монитор Хоара	236
7.10. Проблема тупиков	236
7.11. Организация системы прерывания	239
7.11.1. Основные параметры системы прерывания	239
7.11.2. Вход в прерывающую программу	242
7.11.3. Приоритетное обслуживание прерываний	243
7.11.4. Функционирование типовой системы прерывания	246
<i>Вопросы и задания</i>	248
8. ПРОЦЕССЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ	249
8.1. Предпосылки создания систем параллельного действия	251
8.2. Отношение предшествования процессов	253
8.3. Типы параллелизма	255
8.4. Информационные модели	257
8.4.1. Мультипроцессоры	257
8.4.2. Мультикомпьютеры	258
8.4.3. Сети межсоединений	262
8.5. Программное обеспечение для мультикомпьютеров	262
8.5.1. Система PVM	263
8.5.2. Система MPI	264
8.6. Повышение эффективности функционирования компьютеров	265
8.6.1. Эффективность вычислений	266

8.6.2. Основные подходы к проектированию программного обеспечения для параллельных компьютеров	267
8.6.3. Модели управления	268
8.6.4. Степень распараллеливания процессов	270
8.6.5. Вычислительные парадигмы	271
8.6.6. Методы коммутации	272
8.7. Алгоритмы выбора маршрутов для доставки сообщений	273
8.8. Метрика аппаратного и программного обеспечения	273
8.9. Классификация компьютеров	275
8.10. Некоторые модели параллельных программ	277
8.11. Формальная модель программ на сетях Петри	281
<i>Вопросы и задания</i>	286
9. СИСТЕМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ	287
9.1. Вычислительные системы и многомашинные комплексы на базе однопроцессорных компьютеров	287
9.2. Многопроцессорный вычислительный комплекс «Эльбрус»	291
9.2.1. Структура вычислительного комплекса	291
9.2.2. Системы программирования комплекса «Эльбрус»	293
9.3. Матричные компьютеры	295
9.4. Концепции вычислительных систем с комбинированной структурой	296
9.5. Архитектура типа «гиперкуб»	299
9.6. Нейрокомпьютеры	300
9.6.1. Предпосылки создания нейрокомпьютеров	301
9.6.2. Функционирование нейрокомпьютеров	304
9.6.3. Формальная модель нейрона Маккалока – Питтса	306
9.6.4. Пример решения задачи на модели одного нейрона	307
9.6.5. Однослойная нейронная сеть	308
9.6.6. Нейроматематика	311
9.6.7. Структура нейрокомпьютера	313
9.7. Процессоры с архитектурой VLIW	314
9.7.1. Структура процессора «Itanium»	315
9.7.2. Параллелизм	315
9.7.3. Предикация и загрузка по предположению	316
9.8. Поточковые компьютеры	317
9.8.1. Концепция управления потоком данных	318
9.8.2. Граф потока операндов	319
9.8.3. Языки потока операндов	320
9.8.4. Принцип однократного присваивания	321
9.8.5. Система LAU: многопроцессорная система с управлением потоком операндов	322
9.9. Суперкомпьютеры	322
9.10. Производительность вычислительных систем	328
<i>Вопросы и задания</i>	330
10. КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	331
10.1. Коммутаторы вычислительных систем	331
10.2. Коммуникационная среда SCI	337

10.2.1. Структура коммуникационных сред на базе SCI	337
10.2.2. Логическая структура SCI	341
10.2.3. Архитектура SCI	343
10.2.4. Когерентность кэш-памяти	344
10.2.5. Функциональная организация узла SCI	346
10.3. Коммуникационная среда Myrinet	347
10.3.1. Структура среды Myrinet	348
10.3.2. Коммутаторы и маршрутизация	349
10.3.3. Логический уровень	350
10.4. Коммуникационная среда InfiniBand	351
<i>Вопросы и задания</i>	353
11. ЯЗЫКИ ОПИСАНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ	354
11.1. Основные подходы к проектированию языков параллельного программирования	354
11.2. Примеры языков параллельного программирования	357
11.2.1. P-язык	357
11.2.2. ЯПФ-язык	357
11.2.3. К-язык	358
11.2.4. Язык диспозиций	358
11.2.5. Язык Occam	362
11.2.6. Язык Etlang	363
11.3. Преобразование последовательных программ в последовательно-параллельные	365
11.4. Распределение задач по процессорам	368
11.5. Планирование в мультипрограммных системах	370
11.5.1. Планирование по наивысшему приоритету	371
11.5.2. Метод круговорота (карусель)	371
11.5.3. Очереди с обратной связью	372
11.5.4. Многоуровневое планирование	373
11.5.5. Генетический алгоритм	373
<i>Вопросы и задания</i>	374
12. ЦЕЛОСТНОСТЬ, СЖАТИЕ И ЗАЩИТА ДАННЫХ	376
12.1. Сжатие данных	376
12.1.1. Простые алгоритмы	377
12.1.2. Сжатие документов	378
12.1.3. Программы для обработки документов	380
12.1.4. Кодирование цветных изображений	381
12.1.5. Сжатие цветных изображений	382
12.1.6. Алгоритмы сжатия видеoinформации	383
12.1.7. Инструменты разработчиков	385
12.2. Методы защиты информации	386
12.2.1. Классификация и особенности программных методов защиты от копирования	386
12.2.2. Способы увеличения эффективности и надежности защиты от копирования	388
12.2.3. Особенности защиты информации в компьютерных сетях	390

12.3. Контроль данных	393
12.3.1. Специфика передачи информации в вычислительных системах	393
12.3.2. Классификация ошибок и их характеристики	394
12.3.3. Методы обнаружения и исправления ошибок в ЭВМ	395
12.3.4. Программные методы контроля	396
12.3.5. Безопасность облачных вычислений	398
<i>Вопросы и задания</i>	400
Приложения	401
<i>Приложение 1</i>	401
<i>Приложение 2</i>	403
<i>Приложение 3</i>	405
Литература	407