

УДК 004.2+744.4

ББК 32.971.3

X20

- X20 Дэвид М. Харрис, Сара Л. Харрис  
Цифровая схемотехника и архитектура компьютера. Дополнение по архитектуре ARM / пер. с англ. Слинкин А. А. / науч. ред. Косолобов Д. А. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 356 с.: ил.

**ISBN 978-5-97060-650-6**

Данное издание является дополнением к книге «Цифровая схемотехника и архитектура компьютера» с описанием отличий архитектуры ARM от MIPS, описанной в первой книге. Оно состоит из глав, посвященных архитектуре процессоров ARM, их микроархитектуре, описанию подсистемы памяти и системы ввода-вывода. Также в приложении приведена система команд ARM. Книгу рекомендуется использовать совместно с первым (основным) изданием по архитектуре MIPS.

Издание будет полезно студентам, инженерам, а также широкому кругу читателей, интересующихся современной схемотехникой.

This edition of «Digital Design and Computer Architecture by David Money Harris and Sarah L. Harris is published by arrangement with ELSEVIER INC., a Delaware corporation having its principal place of business at 360 Park Avenue South, New York, NY 10010, USA

Это издание книги Дэвида Мани Харриса и Сары Л. Харрис «Цифровая схемотехника и архитектура компьютера» публикуется по соглашению с ELSEVIER INC., Делавэрской корпорацией, которая осуществляет основную деятельность по адресу 360 Park Avenue South, New York, NY 10010, USA.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-0-12-800056-4 (анг.)

ISBN 978-5-97060-650-6 (рус.)

© 2016 Elsevier, Inc. All rights reserved.

© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2019

# Оглавление

<b>Похвальные отзывы на книгу «Цифровая схемотехника и архитектура компьютера». Дополнение по архитектуре ARM</b>	<b>10</b>
<b>Предисловие</b>	<b>12</b>
Особенности книги.....	12
Материалы в Интернете .....	14
Как использовать программный инструментарий в учебном курсе .....	14
Опечатки.....	16
Признательность за поддержку .....	16
<b>Глава 1 Архитектура</b>	<b>19</b>
1.1. Введение .....	19
1.2. Язык ассемблера .....	21
1.2.1. Команды .....	21
1.2.2. Операнды: регистры, память и константы .....	23
1.3. Программирование .....	29
1.3.1. Команды обработки данных.....	29
1.3.2. Флаги условий.....	32
1.3.3. Переходы.....	34
1.3.4. Условные предложения .....	36
1.3.5. Циклы.....	38
1.3.6. Память.....	40
1.3.7. Вызовы функций.....	45
1.4. Машинный язык .....	58
1.4.1. Команды обработки данных.....	58
1.4.2. Команды доступа к памяти .....	62
1.4.3. Команды перехода .....	63
1.4.4. Режимы адресации .....	65
1.4.5. Интерпретация кода на машинном языке .....	66
1.4.6. Могущество хранимой программы .....	67
1.5. Свет, камера, мотор! Компилируем, ассемблируем и загружаем ....	69
1.5.1. Карта памяти .....	69
1.5.2. Компиляция.....	71
1.5.3. Ассемблирование .....	72
1.5.4. Компоновка .....	74
1.5.5. Загрузка .....	75
1.6. Дополнительные сведения .....	76
1.6.1. Загрузка литералов .....	76
1.6.2. NOP.....	78
1.6.3. Исключения.....	78
1.7. Эволюция архитектуры ARM.....	82
1.7.1. Набор команд Thumb.....	83

1.7.2. Команды для цифровой обработки сигналов .....	84
1.7.3. Команды арифметики с плавающей точкой .....	90
1.7.4. Команды энергосбережения и безопасности .....	91
1.7.5. Команды SIMD .....	92
1.7.6. 64-битовая архитектура .....	93
1.8. Живой пример: архитектура x86 .....	94
1.8.1. Регистры x86 .....	95
1.8.2. Операнды x86 .....	96
1.8.3. Флаги состояния .....	97
1.8.4. Команды x86 .....	98
1.8.5. Кодирование команд x86 .....	98
1.8.6. Другие особенности x86 .....	102
1.8.7. Общая картина .....	102
1.9. Резюме .....	103
Упражнения .....	104
Вопросы для собеседования .....	117

## Глава 2 Микроархитектура 119

2.1. Введение .....	119
2.1.1. Архитектурное состояние и набор команд .....	120
2.1.2. Процесс проектирования .....	120
2.1.3. Микроархитектуры .....	123
2.2. Анализ производительности .....	124
2.3. Однотактный процессор .....	126
2.3.1. Однотактный тракт данных .....	126
2.3.2. Однотактное устройство управления .....	133
2.3.3. Дополнительные команды .....	138
2.3.4. Анализ производительности .....	140
2.4. Многотактный процессор .....	142
2.4.1. Многотактный тракт данных .....	143
2.4.2. Многотактное устройство управления .....	150
2.4.3. Анализ производительности .....	160
2.5. Конвейерный процессор .....	161
2.5.1. Конвейерный тракт данных .....	164
2.5.2. Конвейерное устройство управления .....	166
2.5.3. Конфликты .....	167
2.5.4. Анализ производительности .....	178
2.6. Представление на языке HDL .....	180
2.6.1. Однотактный процессор .....	181
2.6.2. Универсальные строительные блоки .....	186
2.6.3. Тестовое окружение .....	189
2.7. Улучшенные микроархитектуры .....	194
2.7.1. Длинные конвейеры .....	194
2.7.2. Микрооперации .....	196
2.7.3. Предсказание условных переходов .....	197
2.7.4. Суперскалярный процессор .....	199
2.7.5. Процессор с внеочередным выполнением команд .....	201
2.7.6. Переименование регистров .....	204

2.7.7. Многопоточность .....	206
2.7.8. Мультипроцессоры.....	207
2.8. Живой пример: эволюция микроархитектуры ARM.....	210
2.9. Резюме.....	217
Упражнения .....	218
Вопросы для собеседования .....	225

### Глава 3 Подсистема памяти 227

3.1. Введение .....	227
3.2. Анализ производительности подсистемы памяти .....	232
3.3. Кэш-память .....	234
3.3.1. Какие данные хранятся в кэш-памяти? .....	235
3.3.2. Как найти данные в кэш-памяти? .....	235
3.3.3. Какие данные заместить в кэш-памяти? .....	245
3.3.4. Улучшенная кэш-память .....	246
3.3.5. Эволюция кэш-памяти процессоров ARM .....	250
3.4. Виртуальная память.....	251
3.4.1. Трансляция адресов.....	254
3.4.2. Таблица страниц.....	256
3.4.3. Буфер ассоциативной трансляции .....	258
3.4.4. Защита памяти .....	260
3.4.5. Стратегии замещения страниц .....	260
3.4.6. Многоуровневые таблицы страниц.....	261
3.5. Резюме.....	264
Упражнения .....	264
Вопросы для собеседования .....	273

### Глава 4 Системы ввода-вывода 275

4.1. Введение .....	275
4.2. Ввод-вывод с отображением на память .....	276
4.3. Ввод-вывод во встраиваемых системах .....	278
4.3.1. Система на кристалле VSM2835 .....	279
4.3.2. Драйверы устройств .....	281
4.3.3. Цифровой ввод-вывод общего назначения.....	284
4.3.4. Последовательный ввод-вывод .....	287
4.3.5. Таймеры.....	300
4.3.6. Аналоговый ввод-вывод .....	302
4.3.7. Прерывания.....	310
4.4. Другие периферийные устройства микроконтроллеров.....	311
4.4.1. Символьный ЖК-дисплей .....	311
4.4.2. VGA-монитор .....	315
4.4.3. Беспроводная связь Bluetooth .....	321
4.4.4. Управление двигателями.....	323
4.5. Интерфейсы шин .....	334
4.5.1. АНВ-Lite .....	335
4.5.2. Пример интерфейса с памятью и периферийными устройствами.....	336

4.6. Интерфейсы ввода-вывода персональных компьютеров.....	340
4.6.1. USB .....	342
4.6.2. PCI и PCI Express .....	343
4.6.3. Память DDR3 .....	344
4.6.4. Сеть .....	344
4.6.5. SATA .....	345
4.6.6. Подключение к ПК .....	346
4.7. Резюме.....	348

## **Эпилог** **349**

## **Приложение А Система команд ARM** **350**

A.1. Команды обработки данных.....	350
A.1.1. Команды умножения .....	352
A.2. Команды доступа к памяти .....	353
A.3. Команды перехода .....	354
A.4. Прочие команды .....	354
A.5. Флаги состояния .....	355