



Rechnerarchitektur

Von der digitalen Logik zum Parallelrechner

6., aktualisierte Auflage

Andrew S. Tanenbaum
Todd Austin



Pearson

EXTRAS
ONLINE

Rechnerarchitektur

Von der digitalen Logik zum Parallelrechner
6., aktualisierte Auflage

Andrew S. Tanenbaum
Todd Austin

Rechnerarchitektur

Inhaltsverzeichnis

Rechnerarchitektur

Impressum

Inhaltsverzeichnis

Vorwort Originalausgabe

Vorwort zur deutschen Ausgabe

Kapitel 1 - Einführung

 1.1 Strukturierte Computerorganisation

 1.1.1 Sprachen, Ebenen und virtuelle Maschinen

 1.1.2 Moderne mehrschichtige Maschinen

 1.1.3 Evolution mehrschichtiger Maschinen

 1.2 Meilensteine der Computerarchitektur

 1.2.1 Die nullte Generation Mechanische Computer (16421945)

 1.2.2 Die erste Generation Vakuumröhren (19451955)

 1.2.3 Die zweite Generation Transistoren (19551965)

 1.2.4 Die dritte Generation integrierte Schaltungen (19651980)

 1.2.5 Die vierte Generation VLSI (1980 ?)

 1.2.6 Die fünfte Generation leistungsarme und unsichtbare Computer

 1.3 Vielfalt der Computer

 1.3.1 Technologische und wirtschaftliche Kräfte

 1.3.2 Das Computerspektrum

 1.3.3 Wegwerfcomputer

 1.3.4 Mikrocontroller

 1.3.5 Mobile Computer und Spielkonsolen

 1.3.6 Personalcomputer

 1.3.7 Server



Inhaltsverzeichnis

1.3.8 Mainframes

1.4 Beispiele von Computerfamilien

1.4.1 Einführung in die x86-Architektur

1.4.2 Einführung in ARM-Architektur

1.4.3 Einführung in die AVR-Architektur

1.5 Metrische Einheiten

1.6 Gliederung dieses Buchs

Kapitel 2 - Aufbau von Computersystemen

2.1 Prozessoren

2.1.1 Aufbau der CPU

2.1.2 Befehlsausführung

2.1.3 RISC kontra CISC

2.1.4 Designprinzipien moderner Computer

2.1.5 Parallelität auf Befehlsebene

2.1.6 Parallelität auf Prozessorebene

2.2 Hauptspeicher (Primärspeicher)

2.2.1 Bits

2.2.2 Speicheradressen

2.2.3 Bytereihenfolge

2.2.4 Fehlerkorrekturcodes

2.2.5 Cache-Speicher

2.2.6 Speichermodule und -typen

2.3 Sekundärspeicher

2.3.1 Speicherhierarchien

2.3.2 Festplatten

2.3.3 IDE-Festplatten

2.3.4 SCSI-Festplatten

2.3.5 RAID

2.3.6 Solid-State-Disks

2.3.7 CD-ROMs

Inhaltsverzeichnis

2.3.8 Einmal beschreibbare CDs

2.3.9 Wiederbeschreibbare CDs

2.3.10 DVD

2.3.11 Blu-Ray

2.4 Eingabe/Ausgabe

2.4.1 Busse

2.4.2 Terminals

2.4.3 Mäuse

2.4.4 Gamecontroller

2.4.5 Drucker

2.4.6 Telekommunikationsgeräte

2.4.7 Digitalkameras

2.4.8 Zeichencodes

2.4.9 UTF-8

Kapitel 3 - Die Ebene der digitalen Logik

3.1 Gatter und boolesche Algebra

3.1.1 Gatter

3.1.2 Boolesche Algebra

3.1.3 Implementierung von booleschen Funktionen

3.1.4 Schaltungsäquivalenz

3.2 Grundschaltungen der digitalen Logik

3.2.1 Integrierte Schaltungen

3.2.2 Schaltnetze

3.2.3 Arithmetische Schaltungen

3.2.4 Taktgeber

3.3 Speicher

3.3.1 Latches

3.3.2 Flipflops

3.3.3 Register

3.3.4 Speicherorganisation



Inhaltsverzeichnis

3.3.5 Speicherchips

3.3.6 RAM und ROM

3.4 CPU-Chips und Busse

3.4.1 Prozessorchips

3.4.2 Computer-Busse

3.4.3 Busbreite

3.4.4 Bustaktung

3.4.5 Bus-Arbitration

3.4.6 Busoperationen

3.5 Beispiele für CPU-Chips

3.5.1 Der Intel Core i7

3.5.2 Das Ein-Chip-System Texas Instruments OMAP4430

3.5.3 Der Mikrocontroller Atmel ATmega168

3.6 Beispielbusse

3.6.1 Der PCI-Bus

3.6.2 PCI Express

3.6.3 USB (Universal Serial Bus)

3.7 Schnittstellen

3.7.1 E/A-Schnittstellen

3.7.2 Decodierung von Adressen

Kapitel 4 - Die Mikroarchitekturebene

4.1 Beispiel einer Mikroarchitektur

4.1.1 Der Datenpfad

4.1.2 Mikrobefehle

4.1.3 Mikrobefehlssteuerung: Mic-1

4.2 Eine Beispiel-ISA: IJVM

4.2.1 Keller

4.2.2 Das IJVM-Speichermodell

4.2.3 Der IJVM-Befehlssatz

4.2.4 Java zu IJVM kompilieren

Inhaltsverzeichnis

4.3 Beispielimplementierung

- 4.3.1 Mikrobefehle und Notation
- 4.3.2 IJVM mit der Mic-1 implementieren

4.4 Design der Mikroarchitekturebene

- 4.4.1 Geschwindigkeit und Kosten
- 4.4.2 Die Länge des Ausführungspfads reduzieren
- 4.4.3 Design mit Prefetching: Mic-2
- 4.4.4 Fließbandverarbeitung: Mic-3
- 4.4.5 Siebenstufige Pipeline: Mic-4

4.5 Leistungsverbesserung

- 4.5.1 Cache-Speicher
- 4.5.2 Sprungvorhersage
- 4.5.3 Out-of-Order-Ausführung und Registerumbenennung
- 4.5.4 Spekulative Ausführung

4.6 Beispiele der Mikroarchitekturebene

- 4.6.1 Die Mikroarchitektur der Core-i7-CPU
- 4.6.2 Die Mikroarchitektur der OMAP4430-CPU
- 4.6.3 Die Mikroarchitektur des Mikrocontrollers ATmega168

4.7 Core i7, OMAP4430 und ATmega168 im Vergleich

Kapitel 5 - Die ISA-Ebene

5.1 Übersicht über die ISA-Ebene

- 5.1.1 Eigenschaften der ISA-Ebene
- 5.1.2 Speichermodelle
- 5.1.3 Register
- 5.1.4 Befehle
- 5.1.5 Übersicht über die ISA-Ebene des Core i7
- 5.1.6 Übersicht über die ISA-Ebene des ARM OMAP4430
- 5.1.7 Übersicht über die ISA-Ebene des AVR ATmega168

5.2 Datentypen

- 5.2.1 Numerische Datentypen

Inhaltsverzeichnis

- 5.2.2 Nicht numerische Datentypen
- 5.2.3 Datentypen des Core i7
- 5.2.4 Datentypen des OMAP4430
- 5.2.5 Datentypen der ATmega168 AVR-CPU

5.3 Befehlsformate

- 5.3.1 Designkriterien für Befehlsformate
- 5.3.2 Opcodes erweitern
- 5.3.3 Befehlsformate des Core i7
- 5.3.4 Befehlsformate der OMAP4430-ARM-CPU
- 5.3.5 Die Befehlsformate des ATmega168 AVR

5.4 Adressierung

- 5.4.1 Adressierungsmodi
- 5.4.2 Unmittelbare Adressierung
- 5.4.3 Direkte Adressierung
- 5.4.4 Registeradressierung
- 5.4.5 Indirekte Registeradressierung
- 5.4.6 Indizierte Adressierung
- 5.4.7 Basisindizierte Adressierung
- 5.4.8 Kelleradressierung
- 5.4.9 Adressierungsmodi für Verzweigungen
- 5.4.10 Orthogonalität von Opcodes und Adressierungsmodi
- 5.4.11 Adressierungsmodi des Core i7
- 5.4.12 Adressierungsmodi der OMAP4430-ARM-CPU
- 5.4.13 Adressierungsmodi des ATmega168 AVR
- 5.4.14 Adressierungsmodi im Vergleich

5.5 Befehlstypen

- 5.5.1 Befehle zur Datenbewegung
- 5.5.2 Dyadische Operationen
- 5.5.3 Monadische Operationen
- 5.5.4 Vergleiche und bedingte Verzweigungen
- 5.5.5 Befehle für Prozeduraufrufe

Inhaltsverzeichnis

- 5.5.6 Schleifensteuerung
- 5.5.7 Ein-/Ausgabe
- 5.5.8 Befehle des Core i7
- 5.5.9 Befehle des OMAP4430
- 5.5.10 Befehle des ATmega168 AVR
- 5.5.11 Befehlssätze im Vergleich

5.6 Ablaufsteuerung

- 5.6.1 Sequenzielle Ablaufsteuerung und Sprünge
- 5.6.2 Prozeduren
- 5.6.3 Coroutinen
- 5.6.4 Traps
- 5.6.5 Interrupts

5.7 Ausführliches Beispiel: Die Türme von Hanoi

- 5.7.1 Türme von Hanoi in der Core-i7-Assemblersprache
- 5.7.2 Türme von Hanoi in der OMAP4430-ARM-Assemblersprache

5.8 Die IA-64-Architektur und der Itanium 2

- 5.8.1 Das Problem mit der IA-32-ISA
- 5.8.2 Das IA-64-Modell: EPIC
- 5.8.3 Verringerung von Speicherreferenzen
- 5.8.4 Befehlsplanung
- 5.8.5 Bedingte Verzweigungen verringern: bedingte Befehlsausführung
- 5.8.6 Spekulative Ladeoperationen

Kapitel 6 - Die Ebene der Betriebssystemmaschine

6.1 Virtueller Speicher

- 6.1.1 Seitenauslagerung
- 6.1.2 Implementierung der Seitenauslagerung
- 6.1.3 Seitenanforderung und Arbeitsbereich
- 6.1.4 Seitenersetzung
- 6.1.5 Seitengröße und Fragmentierung
- 6.1.6 Segmentierung



Inhaltsverzeichnis

- 6.1.7 Implementierung der Segmentierung
- 6.1.8 Virtueller Speicher im Core i7
- 6.1.9 Virtueller Speicher in der OMAP4430 ARM-CPU
- 6.1.10 Virtueller Speicher und Caching

6.2 Hardwarevirtualisierung

- 6.2.1 Hardwarevirtualisierung beim Core i7

6.3 E/A-Befehle auf OSM-Ebene

- 6.3.1 Dateien
- 6.3.2 Implementierung von E/A-Befehlen auf OSM-Ebene
- 6.3.3 Befehle für die Verzeichnisverwaltung

6.4 Befehle der OSM-Ebene für parallele Verarbeitung

- 6.4.1 Erstellen von Prozessen
- 6.4.2 Race Conditions
- 6.4.3 Semaphore zur Synchronisierung von Prozessen

6.5 Beispiele von Betriebssystemen

- 6.5.1 Einführung
- 6.5.2 Beispiele für virtuellen Speicher
- 6.5.3 Beispiele für Ein-/Ausgabe auf Betriebssystemebene
- 6.5.4 Beispiele der Prozessverwaltung

Kapitel 7 - Die Ebene der Assemblersprache

7.1 Einführung in die Assemblersprache

- 7.1.1 Was ist eine Assemblersprache?
- 7.1.2 Wofür braucht man eine Assemblersprache?
- 7.1.3 Format einer Anweisung in Assemblersprache
- 7.1.4 Pseudobefehle

7.2 Makros

- 7.2.1 Definition, Aufruf und Erweiterung eines Makros
- 7.2.2 Makros mit Parametern
- 7.2.3 Weitere Eigenschaften
- 7.2.4 Makrotechnik in einem Assemblierer implementieren

Inhaltsverzeichnis

7.3 Der Assemblierungsprozess

7.3.1 Zwei-Pass-Assemblierer

7.3.2 Erster Lauf

7.3.3 Zweiter Lauf

7.3.4 Die Symboltabelle

7.4 Binden und Laden

7.4.1 Aufgaben des Linkers

7.4.2 Struktur eines Objektmoduls

7.4.3 Bindezeit und dynamische Relokation

7.4.4 Dynamisches Binden

7.4.5 Dynamisches Binden unter Unix

Kapitel 8 - Parallele Rechnerarchitekturen

8.1 Parallelität auf demselben Chip

8.1.1 Parallelität auf Befehlsebene

8.1.2 On-Chip-Multithreading

8.1.3 Ein-Chip-Multiprozessoren

8.2 Coprozessoren

8.2.1 Netzwerkprozessoren

8.2.2 Grafikprozessoren

8.2.3 Kryptoprozessoren

8.3 Multiprozessoren mit gemeinsamem Speicher

8.3.1 Multiprozessoren und Multicomputer

8.3.2 Speichersemantik

8.3.3 Symmetrische UMA-Multiprozessorarchitekturen

8.3.4 NUMA-Multiprozessoren

8.3.5 COMA-Multiprozessorsysteme

8.4 Multicomputer mit Nachrichtenaustausch

8.4.1 Verbindungsnetze

8.4.2 MPPs Massiv parallele Prozessorsysteme

8.4.3 Cluster-Rechner

Inhaltsverzeichnis

- 8.4.4 Kommunikationssoftware für Multicomputer
- 8.4.5 Scheduling
- 8.4.6 Gemeinsamer Speicher auf Anwendungsebene
- 8.4.7 Leistung

8.5 Grid-Computing

Literaturverzeichnis

Anhang A - Binärzahlen

- A.1 Zahlen mit endlicher Genauigkeit
- A.2 Zahlensysteme mit anderen Basen
- A.3 Umwandlung von einer Basis in eine andere
- A.4 Negative Binärzahlen
- A.5 Binärarithmetik

Anhang B - Gleitkommazahlen

- B.1 Grundlagen der Gleitkommaarithmetik
- B.2 IEEE-Standard 754 für Gleitkommazahlen

Anhang C - Assemblerprogrammierung

- C.1 Überblick
 - C.1.1 Assemblersprache
 - C.1.2 Ein kleines Assemblerprogramm
- C.2 Der 8088-Prozessor
 - C.2.1 Der Prozessorzyklus
 - C.2.2 Die allgemeinen Register
 - C.2.3 Zeigerregister
- C.3 Speicher und Adressierung
 - C.3.1 Speicherorganisation und Segmente
 - C.3.2 Adressierung
- C.4 Der Befehlssatz des 8088
 - C.4.1 Lade-, Kopier und Arithmetikbefehle
 - C.4.2 Logische Operationen, Bit- und Verschiebeoperationen



Inhaltsverzeichnis

C.4.3 Schleifen und wiederholte Zeichenfolgenoperationen

C.4.4 Sprung- und Aufrufbefehle

C.4.5 Unterprogrammaufrufe

C.4.6 Systemaufrufe und Systemunterprogramme

C.4.7 Abschließende Bemerkungen zum Befehlssatz

C.5 Der Assemblierer

C.5.1 Einführung

C.5.2 Der ACK-basierte Assemblierer as88

C.5.3 Einige Unterschiede zu anderen 8088-Assemblierern

C.6 Der Tracer

C.6.1 Tracer-Kommandos

C.7 Erste Schritte

C.8 Beispiele

C.8.1 Das Beispiel Hello World

C.8.2 Beispiel für allgemeine Register

C.8.3 Der CALL-Befehl und Zeigerregister

C.8.4 Fehler in einem Programm zur Ausgabe von Feldern suchen

C.8.5 Zeichenfolgenmanipulation und Zeichenfolgenbefehle

C.8.6 Verzweigungstabellen

C.8.7 Gepufferter und wahlfreier Dateizugriff

Namensregister

A

Abramson 670

Adams 152

Adiga 642

Adve 611

Agerwala 87

Ahmadinia 592

Aiken 34, 103

Alam 642



Inhaltsverzeichnis

Almasi 642
Amza 657
Anderson 206, 231, 244, 647
Arronategui 670
Atanasoff 34, 36
August 445

B

Babbage 33
Bachrach 31
Bal 660, 664
Balasangameshwara 670
Banzi 52
Barroso 652
Bechini 45
Bell 647
Bhakthavatchalu 592
Binstock 586
Bjornson 660
Blumrich 642
Bogen 64
Boole 169
Bose 47
Bouknight 89
Bradley 42
Bride 42
Brightwell 645
Burkhardt 633

C

Carriero 658
Carter 627
Celaya 670



Inhaltsverzeichnis

Charlesworth 631

Chen 331

Cheng 627

Chou 575

Cocke 81, 87

Cohen 95

Congdon 243

Corbató 473

Cray 39, 81, 90

Cuartielles 52

D

Denning 464

Dijkstra 322, 393, 424, 495

Donaldson 152

Dubois 613

Dulchinos 152

Dulong 447

Dutta-Roy 152

E

Ellis 624

Estridge 42

F

Faggin 57

Falcon 331

Fisher 334

Flynn 608

Forrester 37

Foster 670

Fotheringham 458

Freitas 600

Freudenberger 334

Inhaltsverzeichnis

Furber 62

G

Gaspar 603

Gaur 329

Geist 653

Gelernter 658

Gepner 586

Gerber 586

Gharachorloo 614

Goldstine 36

Goodman 612, 616

Goth 42

Gropp 653

Gurumurthi 110

Gutenberg 139

H

Hagersten 633

Haghhighizadeh 603

Hamming 48, 97, 98

Hawkins 45

Heinze 47

Henkel 46

Hennessy 81

Hill 611

Hoagland 48

Hoare 662

Hoff 57

Hudak 607, 656

I

IBM 642

J

Inhaltsverzeichnis

Jacobs 765

Jefferson 35

Jesshope 633

Jimenez 331

Jobs 42

Johnson 658

Jones 152

K

Kahan 702

Kaufman 152

Kesselman 670

Kilby 40

Kildall 42

Kim 47

Knuth 472

Kozyrakis 329

Krishnan 243

L

Lamport 611

LaRowe 624

Lee 670

Leibniz 33

Li 607, 656

Lin 600

Linné 608

Lukasiewicz 392

M

Masuoka 115

Mauchley 34, 35

Mayhew 243

McKusick 501

Inhaltsverzeichnis

McNairy 448

Moore 46, 89

Morgan 31

Moudgil 337

Mukherjee 46

N

Naeem 615

Nakao 600

Noyce 40, 57

O

Ogston 765

Olsen 37

Organick 473

Oskin 47

Ousterhout 501

P

Panetta 27

Papamarcos 616, 618

Parikh 331

Pascal 33

Patel 616, 618

Patterson 81, 112, 372

Pountain 87

R

Radin 81

Raju 670

Ritchie 499

Rock 57

Rosenblum 501

Russonovich 520

Rusu 448

Inhaltsverzeichnis

S

- Saha 46
- Sakamura 46
- Sanchez 329
- Scales 658
- Schaminee 765
- Seltzer 501
- Séquin 81, 372
- Shahrabi 592
- Shanley 231
- Shoufan 603
- Shugart 110
- Singh 42
- Slater 31
- Snir 653
- Solari 206, 231, 243
- Solomon 520
- Soltis 448
- Sorin 611, 615
- Stets 658
- Stevenson 765
- Stibitz 34
- Summers 147
- Sunderram 653
- Swan 624
- Swift 95

T

- Tan 244
- Tanenbaum 499, 519, 595, 660
- Thompson 499
- Torvalds 500

Inhaltsverzeichnis

Treleaven 608

Tu 615

Turing 35

V

Vahid 27

van Renesse 765

Vassiliadis 337

Vetter 147

von Neumann 36, 390

Vries 765

Vu 633

Vyssotsky 473

W

Wams 765

Watson 38

Weiser 46

Wetherall 595

Wilkes 27, 35, 79

Willse 206, 231

Wollan 65

Wozniak 42

Y

Yamamoto 600

Yoo 46

Z

Zhang 633

Zuse 34

Register

Copyright

Copyright

Daten, Texte, Design und Grafiken dieses eBooks, sowie die eventuell angebotenen eBook-Zusatzdaten sind urheberrechtlich geschützt. Dieses eBook stellen wir lediglich als **persönliche Einzelplatz-Lizenz** zur Verfügung!

Jede andere Verwendung dieses eBooks oder zugehöriger Materialien und Informationen, einschließlich

- der Reproduktion,
- der Weitergabe,
- des Weitervertriebs,
- der Platzierung im Internet, in Intranets, in Extranets,
- der Veränderung,
- des Weiterverkaufs und
- der Veröffentlichung

bedarf der **schriftlichen Genehmigung** des Verlags. Insbesondere ist die Entfernung oder Änderung des vom Verlag vergebenen Passwort- und DRM-Schutzes ausdrücklich untersagt!

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an: **info@pearson.de**

Zusatzdaten

Möglicherweise liegt dem gedruckten Buch eine CD-ROM mit Zusatzdaten oder ein Zugangscode zu einer eLearning Plattform bei. Die Zurverfügungstellung dieser Daten auf unseren Websites ist eine freiwillige Leistung des Verlags. **Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.** Zugangscodes können Sie darüberhinaus auf unserer Website käuflich erwerben.

Hinweis

Dieses und viele weitere eBooks können Sie rund um die Uhr und legal auf unserer Website herunterladen:

<https://www.pearson-studium.de>



Pearson