

Baruch Zoltan Francisc

ARHITECTURA CALCULATOARELOR

ARHITECTURA CALCULATOARELOR

Dr. ing. Baruch Zoltan Francisc

*Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Catedra de Calculatoare*

Editura TODESCO
Cluj-Napoca, 2000

Recenzenți: Prof. dr. ing. Iosif IGNAT
Prof. dr. ing. Vasile-Teodor DĂDĂRLAT

CUPRINS

PREFAȚĂ	xi
1. INTRODUCERE	1
1.1. CALCULATOARE NUMERICE	1
1.2. PROGRAMAREA CALCULATOARELOR NUMERICE	1
1.3. MODELUL UNUI CALCULATOR NUMERIC	3
1.4. STRUCTURA MAȘINII FIZICE	5
1.4.1. Unitatea centrală de prelucrare	6
1.4.1.1. Unitatea aritmetică și logică	6
1.4.1.2. Registrele	7
1.4.1.3. Unitatea de comandă și control	7
1.4.2. Unitatea de memorie	8
1.4.3. Unitatea de intrare/ieșire	8
1.4.4. Interconexiuni	9
2. BAZELE ARITMETICE ALE CALCULATOARELOR.....	10
2.1. SISTEME DE NUMERAȚIE	10
2.2. CONVERSIA BAZEI DE NUMERAȚIE	12
2.2.1. Conversia numerelor întregi	12
2.2.2. Conversia numerelor fracționare	13
2.2.3. Conversia binar-zecimală	15
2.3. OPERAȚII ARITMETICE CU NUMERE FĂRĂ SEMN	17
2.3.1. Adunarea	17
2.3.2. Scăderea	17
2.3.3. Înmulțirea	18
2.3.4. Împărțirea	18
2.4. REPREZENTAREA NUMERELOR ÎN CALCULATOR	19
2.5. REPREZENTAREA NUMERELOR ÎN VIRGULĂ FIXĂ	20
2.5.1. Reprezentarea numerelor cu semn	20
2.5.2. Reguli de deplasare a numerelor cu semn	23
2.5.3. Operații cu numere reprezentate în virgulă fixă	24
2.5.3.1. Adunarea numerelor reprezentate în C2	24
2.5.3.2. Scăderea numerelor reprezentate în C2	25
2.6. REPREZENTAREA NUMERELOR ÎN VIRGULĂ MOBILĂ	26
2.6.1. Principii	26
2.6.2. Reprezentarea numerelor în formatul IEEE 754	29
2.7. CODURI	34
2.7.1. Coduri binar-zecimale	34
2.7.2. Coduri detectoare de erori	37

2.7.3. Coduri corectoare de erori	38
2.7.4. Coduri alfanumerice	40
2.7.4.1. ASCII	40
2.7.4.2. Unicode și ISO/IEC 10646	41
3. CIRCUITE LOGICE DIGITALE.....	46
3.1. ELEMENTE DE ALGEBRĂ BOOLEANĂ	46
3.1.1. Operatori booleeni și funcții booleene	46
3.1.2. Postulatele algebrei booleene	47
3.1.3. Teoremele fundamentale ale algebrei booleene.....	49
3.2. PORȚI LOGICE	50
3.3. FORMELE CANONICE ALE FUNCȚIILOR BOOLEENE.....	52
3.4. MINIMIZAREA FUNCȚIILOR BOOLEENE.....	56
3.4.1. Metoda algebrică	56
3.4.2. Metoda diagramelor Karnaugh	57
3.4.2.1. Reprezentarea funcțiilor prin diagrama Karnaugh	57
3.4.2.2. Minimizarea funcțiilor prin diagrama Karnaugh.....	58
3.4.2.3. Minimizarea funcțiilor incomplet definite	63
3.5. CIRCUITE LOGICE COMBINAȚIONALE	64
3.5.1. Convertoare de cod.....	64
3.5.2. Decodificatoare	66
3.5.2.1. Decodificator de adresă.....	67
3.5.2.2. Decodificator din cod BCD în zecimal	68
3.5.2.3. Utilizarea decodificatoarelor pentru implementarea funcțiilor logice	70
3.5.3. Codificatoare	71
3.5.4. Multiplexoare	75
3.5.5. Demultiplexoare	79
3.5.6. Circuite logice programabile	82
3.5.6.1. Memorii ROM	83
3.5.6.2. Rețele logice programabile	87
3.5.6.3. Circuite FPGA	91
3.6. CIRCUITE LOGICE SECVENȚIALE	94
3.6.1. Prezentare generală a circuitelor secvențiale	94
3.6.2. Circuite basculante bistabile	99
3.6.2.1. Bistabilul RS asincron.....	100
3.6.2.2. Bistabilul RS sincron	104
3.6.2.3. Bistabilul JK sincron	105
3.6.2.4. Bistabilul D sincron	108
3.6.2.5. Bistabilul T sincron.....	109
3.6.2.6. Bistabile de tip Master-Slave	110
3.6.2.7. Circuite basculante bistabile integrate.....	111
3.6.3. Sinteza circuitelor secvențiale	112
3.6.4. Registre	114
3.6.4.1. Registre de memorare	114
3.6.4.2. Registre de deplasare	115
3.6.4.3. Registre serie-paralel	116
3.6.4.4. Registre universale.....	117

3.6.5. Numărătoare	117
3.6.5.1. Numărătoare asincrone.....	118
3.6.5.2. Numărătoare sincrone	122
4. UNITATEA CENTRALĂ DE PRELUCRARE.....	126
4.1. STRUCTURA UCP	126
4.2. REGISTRE	128
4.2.1. Registre utilizator	128
4.2.2. Registre de control și de stare	128
4.3. MEMORIA STIVĂ.....	130
4.4. EXECUȚIA INSTRUCȚIUNILOR	130
4.4.1. Subciclul de extragere.....	131
4.4.2. Subciclul de execuție	132
4.4.3. Subciclul de întrerupere	136
4.4.4. Operații de I/E	137
4.5. PROCESOARELE INTEL.....	138
4.5.1. Prezentare generală a procesoarelor Intel	138
4.5.2. Microarhitectura procesoarelor din familia P6	143
4.5.2.1. Prezentare generală a microarhitecturii	143
4.5.2.2. Prezentare detaliată a microarhitecturii	145
5. SETURI DE INSTRUCȚIUNI.....	150
5.1. ELEMENTELE UNEI INSTRUCȚIUNI MAȘINĂ	150
5.2. LIMBAJE DE ASAMBLARE.....	151
5.3. NUMĂRUL DE ADRESE ALE INSTRUCȚIUNILOR.....	152
5.4. TIPURI DE INSTRUCȚIUNI	154
5.4.1. Transferuri de date.....	154
5.4.2. Instrucțiuni aritmetice	155
5.4.3. Instrucțiuni logice	155
5.4.4. Instrucțiuni de salt și apel	157
5.4.4.1. Instrucțiuni de salt	157
5.4.4.2. Instrucțiuni de apel.....	158
5.4.5. Instrucțiuni de control al sistemului	160
5.4.6. Instrucțiuni de I/E	160
5.5. MODURI DE ADRESARE.....	160
5.5.1. Adresarea imediată	161
5.5.2. Adresarea directă	161
5.5.3. Adresarea indirectă	162
5.5.4. Adresarea registrelor.....	163
5.5.5. Adresarea indirectă prin registru.....	163
5.5.6. Adresarea cu deplasament	164
5.5.6.1. Adresarea relativă	164
5.5.6.2. Adresarea bazată	165
5.5.6.3. Adresarea indexată	165

5.5.7. Adresarea stivei	166
5.6. FORMATUL INSTRUCȚIUNILOR	166
5.6.1. Lungimea instrucțiunilor	167
5.6.2. Alocarea biților.....	167
5.6.3. Instrucțiuni cu lungime variabilă.....	168
6. UNITATEA ARITMETICĂ ȘI LOGICĂ.....	170
6.1. CIRCUITE PENTRU ADUNAREA A DOUĂ CIFRE BINARE	170
6.2. OPERAȚII CU NUMERE ÎN VIRGULĂ FIXĂ.....	173
6.2.1. Adunarea	173
6.2.1.1. Sumatorul serie	174
6.2.1.2. Sumatorul paralel.....	175
6.2.2. Înmulțirea binară	176
6.2.2.1. Metoda înmulțirii directe	176
6.2.2.2. Metoda Booth	182
6.2.2.3. Înmulțirea pe grupe de cifre	187
6.2.3. Împărțirea binară	190
6.2.3.1. Principiul împărțirii binare.....	190
6.2.3.2. Metode de împărțire binară.....	192
6.2.3.3. Metoda refacerii restului parțial	192
6.2.3.4. Metoda fără refacerea restului parțial.....	196
6.3. OPERAȚII CU NUMERE ÎN VIRGULĂ MOBILĂ	199
6.3.1. Adunarea și scăderea în virgulă mobilă	200
6.3.2. Înmulțirea și împărțirea în virgulă mobilă	204
6.3.3. Considerații de precizie	206
7. UNITATEA DE COMANDĂ ȘI CONTROL	208
7.1. MICRO-OPERAȚII.....	208
7.1.1. Subciclul de extragere	210
7.1.2. Subciclul de indirectare	211
7.1.3. Subciclul de execuție.....	212
7.1.4. Subciclul de întrerupere.....	213
7.1.5. Ciclul de instrucțiune.....	213
7.2. CONTROLUL UCP	214
7.2.1. Cerințe funcționale pentru unitatea de comandă.....	214
7.2.2. Semnale de control	215
7.2.3. Exemplu de unitate de comandă.....	217
7.3. ORGANIZAREA INTERNĂ A UCP.....	219
7.4. IMPLEMENTAREA UCC	220
7.4.1. UCC care utilizează un bistabil pe stare	220
7.4.2. UCC care utilizează un decodificator	221
7.4.3. Unități de comandă microprogramate.....	222
7.4.3.1. Principiul UCC microprogramate	222
7.4.3.2. Structura unei UCC microprogramate.....	225
7.4.3.3. Secvențierea microinstrucțiunilor	227

8. UNITATEA DE MEMORIE	232
8.1. CARACTERISTICILE SISTEMELOR DE MEMORIE	232
8.2. IERARHIA DE MEMORII.....	235
8.3. MEMORII SEMICONDUCTOARE.....	237
8.3.1. Tipuri de memorii semiconductoare	237
8.3.2. Organizarea memoriilor semiconductoare	239
8.4. MEMORIA STIVĂ.....	242
8.4.1. Tipuri de memorii stivă.....	242
8.4.1.1. Stiva implementată în memorie.....	242
8.4.1.2. Stiva cablată	243
8.4.1.3. Stiva parțial cablată	244
8.4.2. Calculatoare orientate pe stivă.....	244
8.4.2.1. Notăția poloneză pentru expresiile aritmetice	245
8.4.2.2. Evaluarea expresiilor postfixate	246
8.5. MEMORIA CACHE	247
8.5.1. Principiul memoriei cache	247
8.5.2. Caracteristici ale memoriei cache	251
8.5.2.1. Dimensiunea	251
8.5.2.2. Funcția de mapare	251
8.5.2.3. Metoda de înlocuire a blocurilor	255
8.5.2.4. Tehnica de scriere	255
9. UNITATEA DE I/E.....	256
9.1. STRUCTURA UNITĂȚII DE I/E	256
9.2. TIPURI DE ECHIPAMENTE PERIFERICE	257
9.3. MODULE DE I/E	258
9.3.1. Funcțiile modulelor de I/E	258
9.3.2. Structura unui modul de I/E.....	260
9.4. INTERFAȚA EXTERNĂ	261
9.5. METODE DE TRANSFER A DATELOR	261
9.5.1. Transferul programat	262
9.5.1.1. Principiul transferului programat	262
9.5.1.2. Comenzi de I/E.....	263
9.5.1.3. Instrucțiuni de I/E.....	263
9.5.2. Transferul prin întreruperi	265
9.5.3. Transferul prin acces direct la memorie.....	267
9.5.4. Transferul prin canale de I/E	270
9.5.4.1. Principiul transferului prin canale de I/E.....	270
9.5.4.2. Comunicația dintre UCP și canalul de I/E.....	272
BIBLIOGRAFIE	275

PREFAȚĂ

Cartea de față tratează arhitectura calculatoarelor numerice, deci studiul proiectării acelor părți ale calculatoarelor care sunt vizibile pentru programatori. Cartea are două obiective principale. Primul este de a prezenta fundamentele necesare pentru înțelegerea structurii calculatoarelor numerice. Astfel, sunt prezentate atât bazele aritmetice, cât și bazele logice ale acestor calculatoare. Al doilea obiectiv este de a descrie la un nivel accesibil fiecare unitate componentă a unui calculator numeric. Această abordare permite utilizarea cărții și de către cei care nu dispun de cunoștințe prealabile în domeniul reprezentării informației și cel al circuitelor logice digitale.

Capitolul 1 conține o introducere în studiul calculatoarelor numerice. Este prezentat modelul unui calculator numeric ca o ierarhie de mașini virtuale pe mai multe nivele. Din această ierarhie se descrie mai detaliat structura mașinii fizice, care cuprinde unitatea centrală de prelucrare, unitatea de memorie, unitatea de intrare/ieșire și interconexiunile dintre aceste unități.

Capitolul 2 prezintă bazele aritmetice ale calculatoarelor numerice: sisteme de numerație, conversia bazei de numerație, operațiile aritmetice elementare, reprezentarea numerelor în virgulă fixă și în virgulă mobilă. Este descris formatul standard IEEE 754 pentru reprezentarea numerelor în virgulă mobilă. Sunt introduse diferite tipuri de coduri, printre care și codul alfanumeric *Unicode*, care este un standard internațional pentru reprezentarea caracterelor în diferite limbi (standardul ISO/IEC 10646).

Capitolul 3 prezintă elemente de algebră booleană și principalele circuite logice digitale. Sunt prezentate principalele funcții booleene, postulatele și teoremele fundamentale ale algebrei booleene, formele canonice ale funcțiilor booleene și minimizarea acestora, atât prin metoda algebrică, cât și prin metoda diagramelor Karnaugh. Sunt descrise circuitele combinaționale uzuale: convertoare de cod, codificatoare, decodificatoare, multiplexoare, demultiplexoare. Pe lângă aceste circuite uzuale, se prezintă și unele circuite programabile importante, cum sunt memoriile ROM, rețelele logice programabile și circuitele FPGA, exemplificând și implementarea funcțiilor logice cu aceste circuite. În continuarea capitolului se prezintă conceptele circuitelor logice secvențiale, se descriu diferitele tipuri de circuite basculante bistabile și se ilustrează sinteza circuitelor secvențiale utilizând aceste circuite. Se descriu apoi diferite tipuri de registre și de numărătoare.

Capitolul 4 este dedicat unității centrale de prelucrare. Este prezentată structura acestei unități, diferitele categorii de registre și se introduce memoria stivă. Sunt descrise operațiile executate de unitatea centrală pentru execuția unei instrucțiuni. Ca exemple de unități centrale din lumea reală, sunt prezentate procesoarele Intel. După trecerea în

revistă a diferitelor procesoare Intel, în care se urmărește evoluția acestora, se descrie microarhitectura procesoarelor din familia P6 (Pentium Pro, Pentium II și Pentium III).

Capitolul 5 prezintă fundamentele arhitecturii seturilor de instrucțiuni. Se prezintă elementele unei instrucțiuni mașină, se introduc limbajele de asamblare și se exemplifică utilizarea acestor limbaje pentru cazurile în care există o adresă, două adrese sau trei adrese pe instrucțiune. În continuare se prezintă categoriile tipice de instrucțiuni ale diferitelor calculatoare și cele mai utilizate moduri de adresare.

Capitolul 6 detaliază unitatea aritmetică și logică. Se descriu principiile operațiilor cu numere în virgulă fixă și circuitele necesare executării acestor operații. Astfel, pentru operația de adunare se prezintă sumatorul serie și cel paralel. Pentru înmulțirea binară, se prezintă circuitele necesare pentru metoda înmulțirii directe, metoda Booth și metoda înmulțirii pe grupe de cifre. În secțiunea dedicată împărțirii binare, se prezintă circuitele de împărțire prin metoda refacerii restului parțial și prin metoda fără refacerea restului parțial. În ultima parte a capitolului se descriu principiile operațiilor elementare cu numere în virgulă mobilă, algoritmiile acestor operații și circuitele pentru implementarea acestor algoritmi.

Capitolul 7 prezintă unitatea de comandă și control. Se introduce mai întâi noțiunea de micro-operație, iar apoi se exemplifică micro-operațiile necesare în diferitele subcicluri ale execuției unei instrucțiuni, utilizând o notație simbolică simplă. Se prezintă funcțiile pe care trebuie să le realizeze unitatea de comandă, semnalele de control necesare realizării acestor funcții și un exemplu de unitate de comandă. În continuare se descriu diferite metode de implementare ale unităților de comandă: metoda care utilizează un bistabil pe stare, metoda care utilizează un decodificator și metoda de implementare microprogramată.

Capitolul 8 descrie unitatea de memorie. Se prezintă mai întâi principalele caracteristici ale sistemelor de memorie și ierarhia de memorii utilizată la calculatoarele actuale. Deoarece memoriile semiconductoare sunt cele mai utilizate, se prezintă diferite tipuri de memorii semiconductoare și organizarea acestora. În continuare se descriu diferite tipuri de memorii stivă și aplicații ale acestor memorii la calculatoarele orientate pe stivă. În secțiunea dedicată memoriei *cache*, se prezintă principiul acestei memorii, caracteristicile sale, diferite funcții de mapare utilizate pentru alocarea blocurilor de memorie și metode de înlocuire a acestor blocuri.

Capitolul 9 prezintă unitatea de intrare/ieșire. Se prezintă structura acestei unități, diferite tipuri de echipamente periferice, funcțiile și structura modulelor de intrare/ieșire. În continuare se descriu principiile diferitelor metode de transfer a datelor: transferul programat, transferul prin întreruperi, transferul prin acces direct la memorie și transferul prin canale de intrare/ieșire.

Cartea "*Arhitectura calculatoarelor*" poate fi utilizată de diferite categorii de cititori. Fiind scrisă la un nivel accesibil, ea poate fi utilizată nu numai de studenții secției de Calculatoare, ci și de studenții de colegiu din cadrul secției de Tehnică de Calcul sau Informatică Tehnică. Cartea poate fi utilizată de asemenea și de studenții altor secții, cum sunt cele de Automatică, Electronică și Telecomunicații sau Mecanică Fină.

Autorul