

# Računalniška arhitektura, avditorne vaje

1. Miniračunalniki v osemdesetih letih (npr. DEC PDP-11) so imeli 18 naslovnih signalov in seveda 18-bitno naslovno vodilo. Odgovorite:

- a) Kolikšen je bil naslovni prostor teh računalnikov?
- b) Kolikšen je bil lahko največji možni pomnilnik teh računalnikov v Bajtih, če je bila pomnilniška beseda dolga 1 Bajt?
- c) Kako dolg je moral biti programski števec (PC) teh računalnikov?
- d) Kaj vse bi bilo potrebno v računalniku spremeniti, če bi želeli naslovni prostor 8-krat povečati?

## Rešitev:

- a)  $2^{18} = 2^8 \cdot 2^{10} = 256k$  ( $2^{10}=1K, 2^{20}=1M, 2^{30}=1G, 2^{40}=1T...$ )
- b)  $2^{18}B = 256kB$
- c) 18b, ker je lahko program kjerkoli v pomnilniku...
- d) dodati 3 naslovne signale, podaljšati PC za 3 bite, spremeniti format ukazov (polje za naslov podaljšati za 3 bite)

2. Desetiško predznačeno število -25 zapišite v osembitni predstavitvi s fiksno vejico v vseh štirih 8 bitnih načinih za predstavitev števil s predznakom. Enako naredite še s številom 33. Števili zapišite v dvojiškem in šestnajstiškem sistemu. Razmislite, kako poteka seštevanje teh dveh števil (dvojiško).

- a) predznak in velikost:

$$V(b) = (-1)^{b_{n-1}} \sum_{i=0}^{n-2} b_i 2^i \quad + .. 0 / - .. 1 \quad (-127..127)$$

$$25_{(10)} = ?_{(2)} = 11001_{(2)}$$

$$25 : 2 = 12 + 1$$

$$12 : 2 = 6 + 0$$

$$6 : 2 = 3 + 0$$

$$3 : 2 = 1 + 1$$

$$1 : 2 = 0 + 1$$

$$33_{(10)} = ?_{(2)} = 100001_{(2)}$$

$$33 : 2 = 16 + 1$$

$$16 : 2 = 8 + 0$$

$$8 : 2 = 4 + 0$$

$$4 : 2 = 2 + 0$$

$$2 : 2 = 1 + 0$$

$$1 : 2 = 0 + 1$$

$$\text{torej: } -25_{(10)} = 10011001_{(2)} \text{ (99}_{(16)}), 33_{(10)} = 00100001_{(2)} \text{ (21}_{(16)})$$

pri seštevanju je potrebno posebej upoštevati predznak => komplikacije...

b) predstavitev z odmikom

$$V(b) = \sum_{i=0}^{n-1} b_i 2^i - 2^{n-1} \quad (\text{tudi } 2^{n-1} - 1) \quad -128..127 \quad (-127..128)$$

$$-25 + 2^{n-1} = -25 + 128 = 103$$

$$103_{(10)} = ?_{(2)} = 1100111_{(2)}$$

$$103 : 2 = 51 + 1$$

$$51 : 2 = 25 + 1$$

$$25 : 2 = 12 + 1$$

$$12 : 2 = 6 + 0$$

$$6 : 2 = 3 + 0$$

$$3 : 2 = 1 + 1$$

$$1 : 2 = 0 + 1$$

$$3 + 2^{n-1} = 33 + 128 = 161$$

$$\text{torej: } -25_{(10)} = 01100111_{(2)} (67_{(16)}), 33_{(10)} = 10100001_{(2)} (A1_{(16)})$$

pri seštevanju ima rezultat odmik upoštevan 2-krat, torej je potrebno en odmik odšteti...

c) eniški komplement

$$V(b) = \sum_{i=0}^{n-1} b_i 2^i - b_{n-1} (2^n - 1) \quad -127..127$$

$$25_{(10)} = 11001_{(2)}$$

$$\text{torej: } -25_{(10)} = 11100110_{(2)} (E6_{(16)}), 33_{(10)} = 00100001_{(2)} (21_{(16)})$$

pri seštevanju moramo ob prenosu iz mesta  $n-1$  k rezultatu prišteti 1, sicer seštevamo predznak enako kot ostale bite...

d) dvojiški komplement

$$V(b) = \sum_{i=0}^{n-1} b_i 2^i - b_{n-1} (2^n) \quad -128..127$$

$$25_{(10)} = 00011001_{(2)}$$

$$11100110_{(2)}$$

$$+00000001_{(2)}$$

$$=11100111_{(2)}$$

$$\text{torej: } -25_{(10)} = 11100111_{(2)} (E7_{(16)}), 33_{(10)} = 00100001_{(2)}$$

3. Število 4,75 zapišite v 32-bitnem formatu IEEE 754. V pomnilniku je neko število zapisano kot 44FAC000<sub>(16)</sub>. Za katero število gre, če vemo, da je zapisano v formatu IEEE 754?

$$\begin{aligned} 4_{(10)} &= ?_{(2)} = 100_{(2)} \\ 4 : 2 &= 2 + 0 \\ 2 : 2 &= 1 + 0 \\ 1 : 2 &= 0 + 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,75_{(10)} &= ?_{(2)} = 0,11_{(2)} \\ 0,75 * 2 &= 0,5 + 1 \\ 0,5 * 2 &= 0 + 1 \end{aligned}$$

$$4,75_{(10)} = 100,11_{(2)}$$

v plavajoči vejici:  $4,75 = -1^s * m * 2^{\text{exp}} = 1 * 100,11 * 2^0$   
 mantiso pretvorimo v obliko 1,???:  
 $100,11 * 2^0 = 1,0011 * 2^2$

$$\begin{aligned} s &= 0 \\ m &= 1,0011 \\ \text{exp} &= 2 \end{aligned}$$

IEEE 754:

s	exp+127	m
1	8	23

$$s=0$$

exp zapišemo v predstavitvi z odmikom 127:  
 $\text{exp}+127=129_{(10)} = 10000001_{(2)}$

mantisa je vedno oblike 1,???, implicitnega bita ni potrebno zapisati:  
 $m=0011$

rezultat:  
 $01000000100110000000000000000000 = 40980000_{(16)}$

#### **Pretvorba v obratno smer:**

$$44\text{FAC}000_{(16)} = 01000100111110101100000000000000_{(2)}$$

$$\begin{aligned} s &= 0 \\ \text{exp}+127 &= 10001001_{(2)} = 137, \text{ torej } \text{exp}=10 \\ m &= 1,111101011_{(2)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &2^0 * m * 2^{\text{exp}} \\ &1 * 1,111101011 * 2^{10} \\ &11111010110_{(2)} = 2006_{(10)} \end{aligned}$$

4. Primerjati želimo računalnika R1 in R2, ki se razlikujeta v tem, da ima R1 strojne ukaze za operacije v plavajoči vejici (Floating Point - FP), medtem ko jih R2 nima (FP operacije ima realizirane programsko z več ne-FP ukazi). Oba računalnika imata frekvenco ure 400 MHz. Na obeh izvajamo isti program, ki ima naslednjo mešanico ukazov:

Vrsta ukaza	Delež ukazov v programu ( $p_i$ )	Trajanje ukaza (število urinih period $CPI_i$ )	
		R1	R2
FP seštevanje	16%	6	20
FP množenje	10%	8	32
FP deljenje	8%	10	66
Ne - FP ukazi	66%	3	3

- a) Izračunajte MIPS za računalnika R1 in R2.  
b) Izračunajte CPE čas izvajanja programa na računalnikih R1 in R2, če ima program 12000 ukazov.  
c) Pri kakšni mešanici ukazov v programu sta oba računalnika R1 in R2 enako hitra?

**Rešitev:**

$$a) CPI = \sum_{i=1}^3 CPI_i * p_i$$

$$MIPS = \frac{f_{CPE}}{CPI * 10^6}$$

**Računalnik R1:**

$$CPI = \sum_{i=1}^3 CPI_i * p_i = 0,16*6 + 0,1*8 + 0,08*10 + 0,66*3 = 4,54$$

Računalnik R1 potrebuje povprečno 4,54 urine periode za en ukaz.

$$MIPS = \frac{f_{CPE}}{CPI * 10^6} = \frac{400 * 10^6}{4,54 * 10^6} = 88,1$$

Računalnik R1 izvede povprečno 88.100.000 ukazov na sekundo.

**Računalnik R2:**

$$CPI = \sum_{i=1}^3 CPI_i * p_i = 0,16*20 + 0,1*32 + 0,08*66 + 0,66*3 = 13,66$$

Računalnik R2 potrebuje povprečno 13,66 urine periode za en ukaz.

$$MIPS = \frac{f_{CPE}}{CPI * 10^6} = \frac{400 * 10^6}{13,66 * 10^6} = 29,28$$

Računalnik R2 izvede povprečno 29.280.000 ukazov na sekundo

$$b) CPE_{čas} = \frac{\text{Številoukazov}}{MIPS * 10^6}$$

Druga oblika enačbe za izračun CPE časa pa je:

$$CPE_{čas} = \text{Številoukazov} * CPI * t_{CPE}$$

**Računalnik R1:**

$$CPE_{cas} = \frac{\text{\textit{Število ukazov}}}{MIPS * 10^6} = \frac{12000}{88,1 * 10^6} = 136,2 * 10^{-6} = 136,2 \mu s$$

**Računalnik R2:**

$$CPE_{cas} = \frac{\text{\textit{Število ukazov}}}{MIPS * 10^6} = \frac{12000}{29,28 * 10^6} = 410 * 10^{-6} = 410 \mu s$$

c) Za programe, ki ne delajo s FP...

5. Delovanje računalnika želimo pohitriti z dodatno enoto za računanje v plavajoči vejici. Ta enota je 20 krat hitrejša kot je izvajanje istih operacij brez nje. V kolikšnem procentu celotnega računalniškega časa se mora ta enota uporabljati, da bo skupno povečanje hitrosti računalnika 2,5 kratno?

**Rešitev:**

Uporabimo Amdahlov zakon:

$$S(N) = \frac{N}{1 + (N-1) * f}$$

$f$  = delež operacij, ki se ne pohitrijo

$N$  = faktor pohitritve za  $(1 - f)$  operacij

$S(N)$  = povečanje hitrosti celotnega računalnika

V našem primeru je  $S(N) = 2,5$ ;  $N = 20$ ; iščemo pa  $(1 - f)$

$$1 - f = 1 - \frac{N - S(N)}{S(N) * (N - 1)} = 1 - \frac{20 - 2,5}{2,5 * 19} = 1 - 0,3684 = 0,6315$$

Disk se mora uporabljati 63,15% časa, da bo delovanje računalnika 2,5 krat hitrejše.

6. Računalnik ima glavni pomnilnik s časom dostopa 60 ns. Ta čas želimo z uporabo predpomnilnika skrajšati na 20 ns. Izračunajte kako hiter mora biti predpomnilnik (čas dostopa), če lahko pričakujemo 90% verjetnost zadetka.

$$t_{ag} = 60 \text{ ns}$$

$$t_a = 20 \text{ ns}$$

$$H = 90\% = 0,9$$

$$t_{ap} = ?$$

$$t_a = t_{ap} + (1 - H) * t_{ag}$$

$$t_{ap} = t_a - (1 - H) * t_{ag}$$

$$t_{ap} = 20 \times 10^{-9} \text{ [s]} - (1 - 0,9) \times 60 \times 10^{-9} \text{ [s]} = 20 \times 10^{-9} - 6 \times 10^{-9} = 14 \times 10^{-9} \text{ [s]} = 14 \text{ [ns]}$$

7. V računalniku s predpomnilnikom je povprečno število urinih period enako 4, če v predpomnilniku ni zgrešitev.

- a) Kolikšno je resnično število urinih period na ukaz, če je verjetnost zgrešitve v predpomnilniku 10%? Za zamenjavo bloka v predpomnilniku je potrebnih 5 urinih period pri branju in 10 urinih period pri pisanju. Vzemite, da sta pri vsakem ukazu potrebna povprečno 2 pomnilniška dostopa, in da je pri tem 20% pisalnih dostopov.

$$CPI_I = 4$$

$$(1-H) = 10\% = 0,1$$

$$M_I = 2$$

$$N_R = 5$$

$$N_W = 10$$

$$P_W = 0,2$$

$$P_R = 0,8$$

$$CPI_R = CPI_I + M_I \times (1-H) \times \text{zgrešitvena kazen}$$

$$\text{zgrešitvena kazen} = P_W \times \text{št. period pri pisanju} + P_R \times \text{št. period pri branju}$$

$$CPI_R = 4 + 2 \times 0,1 \times (0,2 \times 10 + 0,8 \times 5) = 5,2$$

- b) Kolikšen je resničen CPI, če povečamo verjetnost dostopa na 95%?

$$CPI_I = 4$$

$$M_I = 2$$

$$(1-H) = 0,05$$

$$\text{zgrešitvena kazen} = 6$$

$$CPI_R = ?$$

$$CPI_R = CPI_I + M_I \times (1-H) \times \text{zgrešitvena kazen}$$

$$CPI_R = 4 + 2 \times 0,05 \times 6 = 4,6$$

8. V računalniku z 32 bitnim pomnilniškim naslovom in dolžino pomnilniške besede 1 Bajt, je vgrajen set-asociativni predpomnilnik. Velikost predpomnilnika je 16 KB, velikost bloka 16 Bajtov, stopnja asociativnosti pa je 4.

- a) Koliko set-ov vsebuje predpomnilnik?

$$n=32$$

$$M=16\text{KB}=2^4\text{KB}=2^{14}\text{B}$$

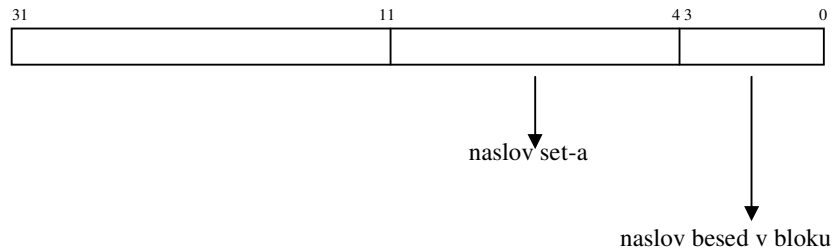
$$\text{blok}=B=16\text{B}=2^4\text{B}$$

$$E=4=2^2$$

$$M=S \times E \times B$$

$$S=M \div (E \times B) = 2^{14} \div (2^2 \times 2^4) = 2^{14-6} = 2^8 = 256 \text{ setov}$$

- b) Kateri biti v pomnilniškem naslovu določajo naslov set-a?



Biti za naslov set-a so: 4-11.

- c) V kateri set se preslika vsebina iz pomnilniškega naslova  $10\text{FFCFF}_{(\text{HEX})}$ ?

1 0001

2 0010

3 0011

4 0100

5 0101

6 0110

7 0111

8 1000

9 1001

A 1010

B 1011

C 1100

D 1101

E 1110

F 1111

31 11 4 3 0  
00000001000011111111110011111111

naslov set-a

Naslov se preslika v set 207.



9. Računalnik z navideznim pomnilnikom ima čas dostopa do glavnega pomnilnika 50 ns, čas za prenos bloka iz navideznega v glavni pomnilnik pa je 10 ms. Verjetnost za napako strani je  $10^{-6}$ .

Kolikšen je povprečen čas dostopa, če je tabela strani v glavnem pomnilniku?

$$t_{ag}=50\text{ns}$$

$$t_B=10\text{ms}$$

$$(1-H)=10^{-6}$$

$$t_a=?$$

$$t_a=t_{ag}+t_{ag}+(1-H)\times t_B$$

↓  
(dostop do tabele strani v glavnem pomnilniku)

↓  
(dostop do okvira strani)

$$\begin{aligned} t_a &= 50 \times 10^{-9} + 50 \times 10^{-9} + 10^{-6} \times 10 \times 10^{-3} = \\ &= 100 \times 10^{-9} + 10 \times 10^{-9} = 110 \times 10^{-9} = 110 \text{ [ns]} \end{aligned}$$

10. Računalnik z navideznim pomnilnikom ima naslednje lastnosti:

- dolžina navideznega naslova je 38 bitov,
- velikost strani je 16 KB,
- dolžina fizičnega naslova pa je 32 bitov.

- a) Koliko bitov je dolg deskriptor strani, če poleg številke okvira (FN) dodatni parametri zasedejo še 6 bitov?

$$n=38$$

$$f=32$$

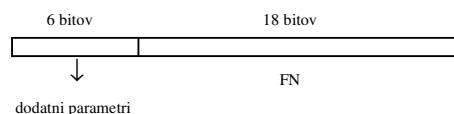
$$\text{velikost strani} = 16 \text{ KB} = 2^p = 2^{14} \text{ B}$$

- Število strani v navideznem pomnilniku:  
 $2^{n-p} = 2^{38-14} = 2^{24}$

- Število okvirov strani v glavnem pomnilniku:  
 $2^{f-p} = 2^{32-14} = 2^{18}$  (FN)

Deskriptor strani = št. okvira 6

Deskriptor str. = 24 bitov = 3 B



- b) Kolikšna je največja možna velikost tabele strani v Bajtih?

št. strani  $\times$  deskriptor strani

$$2^{24} \times 3 \text{ B} = 2^{20} \times 2^4 \times 3 \text{ B} = 2^4 \times 3 \text{ MB} = 16 \times 3 \text{ MB} = 48 \text{ MB}$$

velikost tabele strani v gl. pom.