Laboratorij za načrtovanje integriranih vezij

Univerza *v Ljubljani*
Fakulteta *za elektrotehniko*

Digitalni Elektronski Sistemi

Delovanje procesorja AVR

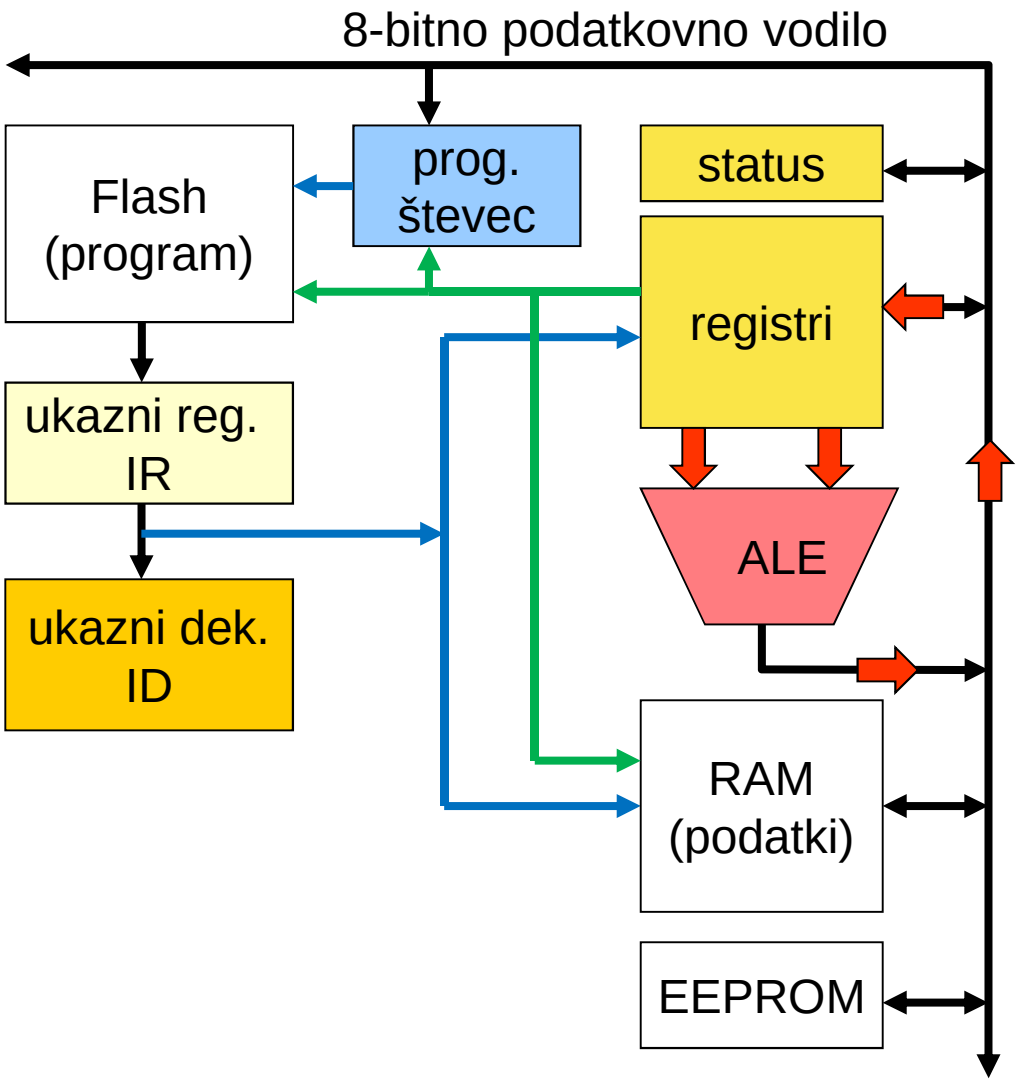
Zbirnik, primer programa

Procesor Atmel AVR ATmega328

- Procesorsko jedro AVR
  - 8 bitno, frekvenca do 20 MHz pri 5V / 10 MHz pri 3.3V
  - 131 strojnih ukazov, RISC
  - zmogljivost 1 ukaz/cikel (20 MIPS pri 20MHz)
    (razen skočnih ukazov)
  - periferne enote: časovniki, vzporedni in zaporedni vmesniki, večkanalni A/D pretvorniki in modulatorji PWM
- Pomnilni elementi
  - 32KB Flash (program)
  - 1KB EEPROM in 2KB SRAM (podatki)
  - 32 registrov
    - 8 bitni registri R0-R31
    - 3 registrski pari za16 bitne vrednosti (X, Y, Z)

Delovanje AVR procesorskega jedra

- programski števec vsebuje naslov naslednjega ukaza
- IR vsebuje naslednji ukaz
- ID vsebuje trenutni ukaz
- Registri: R0-R31
- ALE – glej označeno interno podatkovno pot
- Flash programski pomnilnik 16 oz. 32 bitni ukazi
- RAM vsebuje delovne podatke
- EEPROM trajni podatki
  - počasen dostop, omejeno število vpisov v pomnilnik



Nabor strojnih ukazov procesorja AVR

- mikrooperacije

aritmet. / logične

a+b	ADD
a-b	SUB
a&b	AND
a|b	OR
a++	INC
a--	DEC
-a	NEG
a=0	CLR
…	…

podatkovni prenos

reg1=reg2	MOV
reg=17	LDI
reg=mem	LDS
reg=*mem	LD
mem=reg	STS
*mem=reg	ST
periferni	IN
periferni	OUT
sklad	PUSH
sklad	POP
…	…

operacije z biti

a<<1	LSL
a>>1	LSR,
Ø C (ni v C)	ROL, ROR
statusni biti	SEI, CLI, CLZ...
ni operacije	NOP
…	…

Primer ukazov in njihove strojne kode

- Naloži neposredno konstanto ($Rd <= K$)
- LDI Rd, K
  - strojna koda: 1110 bbbb rrrr bbbb
    - omejitve: registri R16-R31; konstanta K < 255
- LDI R16, $2C
  - koda: 1110 0010 0000 1100 ali $E20C

- Seštej in shrani v Rd ($Rd <= Rd + Rr$)
- ADD Rd, Rr
  - strojna koda: 0000 11rd dddd rrrr
    - Rd in Rr sta katerakoli registra R0-R31
- ADD R16, R17
  - ddddd je 10000, rrrrr je 10001, koda ukaza: $0F01

Strojni program

- Naloži program v pomnilnik
  - na naslov 0 shranimo $E20C
  - na naslov 1 shranimo $E01F
  - na naslov 2 shranimo $0F01

```
0000: $E20C LDI R16, $2C
0001: $E01F LDI R17, $0F
0002: $0F01 ADD R16, R17
```

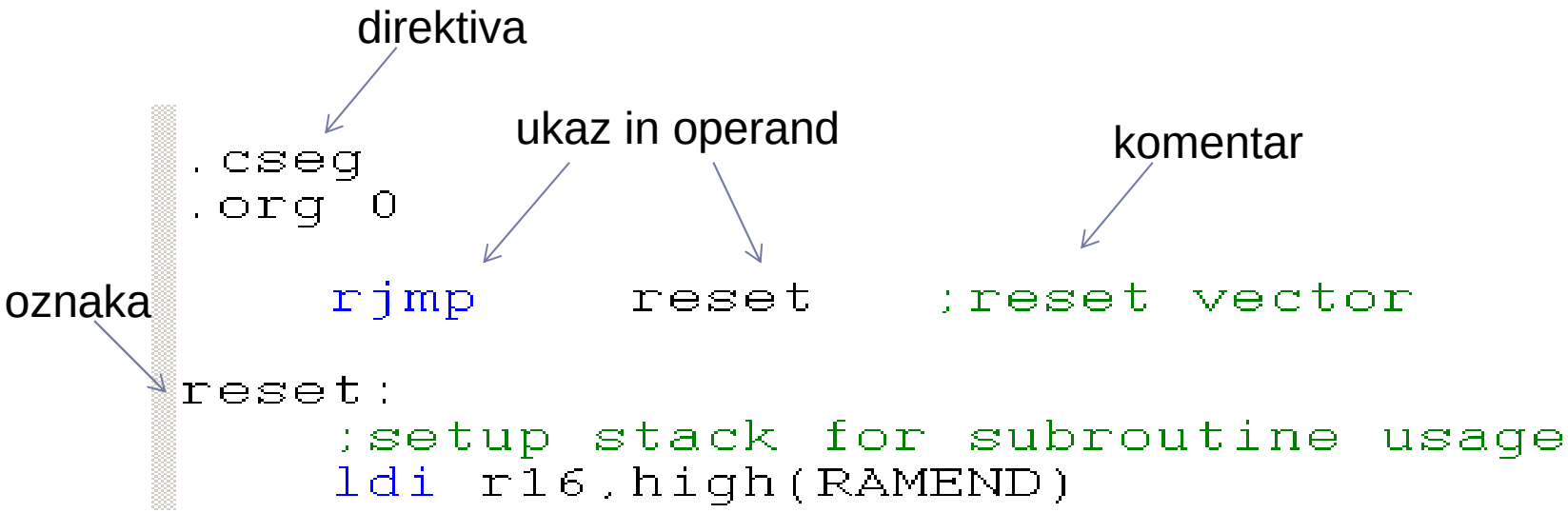
- Izvršimo zaporedje treh ukazov
  - nastavi prog. števec na 0 in izvedi 3 ukazne cikle (prenos/izvrši)
- Pregled rezultata:

```
R16  = R16 + R17
     = $2C + $0F
     = $3B
```

- Kaj se bo izvršilo po teh treh ukazih?
  - ne vemo, odvisno kaj je zapisano v pomnilniku Flash…

Sintaksa ukazov v zbirniku (Assembler)

- 3 možne oblike, [] pomenijo opcijo
  - [oznaka:] direktiva operandi [;komentar]
  - [oznaka:] ukaz operandi [;komentar]
  - [oznaka:] [;komentar]
- Vsaka vrstica je direktiva ali ukaz ali oznaka ali pa prazna vrstica
  - komentar začnemo s podpičjem, zaključi se na koncu vrstice



Skočni ukazi in primeri v jeziku C

- JMP, RJMP: brezpogojni skok

  npr. neskončna zanka:

M_LOOP:
  …ukazi…
  jmp M_LOOP
	while (1) {
	  ...ukazi...
	}

- CALL, RET: klic podprograma in vrnitev (return)

  npr. podprogram:

M_LOOP:
  …
  CALL FV
  …
FV:…ukazi…
  RET
	void fv() { …ukazi…
	  return;
	}
	void main () {…
	  fv();
	}

Pogojni stavek

- Skoči na L1, če je a==b, sicer skoči na L2
  - naredimo s kombinacijo pogojnih in brezpogojnih skokov

```
M_LOOP:       ; primerjaj,
  CPSE a, b   ; preskoči, če a=b
  JMP L2
L1:…          ; a == b
  JMP M_LOOP
L2:…          ; a != b
  JMP M_LOOP
```

```
while (1) {
  if (a==b) {
    (L1)
  } else {
    (L2)
  }
}
```

CPSE (compare, skip if equal) preskoči naslednji ukaz (JMP L2) če sta operanda enaka, tako da se izvršijo ukazi za oznako L1.

Hitro nastane zmešnjava – NARIŠI DIAGRAM POTEKA!

Pogojni skočni ukazi

- Skok, ki se izvede glede na rezultat prejšnjega ukaza
- Aritmetični in logični ukazi shranijo rezultat in zastavice
- Primerjava (CP) naredi odštevanje, vendar ne shrani rezultat ampak samo postavi zastavice
  - Z=1, če je rezultat 0,
  - N=1,če je rezultat negativen,
  - C=1, če je prišlo do prenosa
- Npr. BRNE: skok, kadar je rezultat različen od 0 (Z=0)
- BREQ, skok, kadar je rezultat enak 0 (Z=1)

Zanke s 16-bitnim števcem

- For zanka, ki se ponovi 20000-krat ($4E20)

```
LDI temp0, 0x20 ; spodnji bajt
LDI temp1, 0x4E ; zgornji bajt
LOOP:
   ...
   DEC temp0    ; odštej 1
   BRNE LOOP    ; skok če !=0
   DEC temp1
   BRNE LOOP
```

```
for (i=20000; i!=0; i--)
{
     ...
};
```

- Najprej se DEC temp0 ponovi32-krat (0x20), dokler ni 0
- Potem se izvršita vgnezdeni zanki
  - temp0 se ponovi 256-krat, temp1 pa 78-krat ($4E), kar je skupaj 19968-krat (če dodamo 32 dobimo 20000)

Dostop do perifernih enot

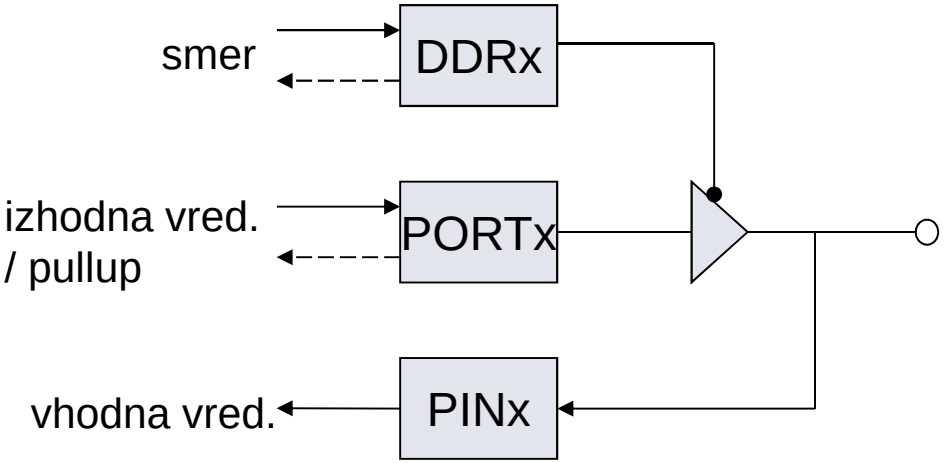
- vzporedna vrata (I/O port)

nastavi 4 vh. in 4 izh. bite →
beri vhode →
izhodi →

```
LDI R19, $F0
OUT DDRD, R19

IN R20, PORTC

LDI R21, $50
OUT PORTD, R21
```



DDxn	PORTxn	PUD (in SFIOR)	I/O	Pull-up	Comment
0	0	X	Input	No	Tri-state (Hi-Z)
0	1	0	Input	Yes	Pxn will source current if ext. pulled low.
0	1	1	Input	No	Tri-state (Hi-Z)
1	0	X	Output	No	Output Low (Sink)
1	1	X	Output	No	Output High (Source)

Seštevanje 16-bitnih nepredznačenih števil

- Vsak izmed operandov je shranjen v dveh bajtih
- Najprej seštejemo spodnja bajta, nato pa še zgornja bajta z upoštevanjem prenosa od spodnjih
- Npr.
  - prvi operand je v (R1, R0)
  - drugi operand je v (R3, R2)

ADD R0, R2 **ADC R1, R3**	`unsigned short a, b;` `a = a + b;`

seštej s prenosom

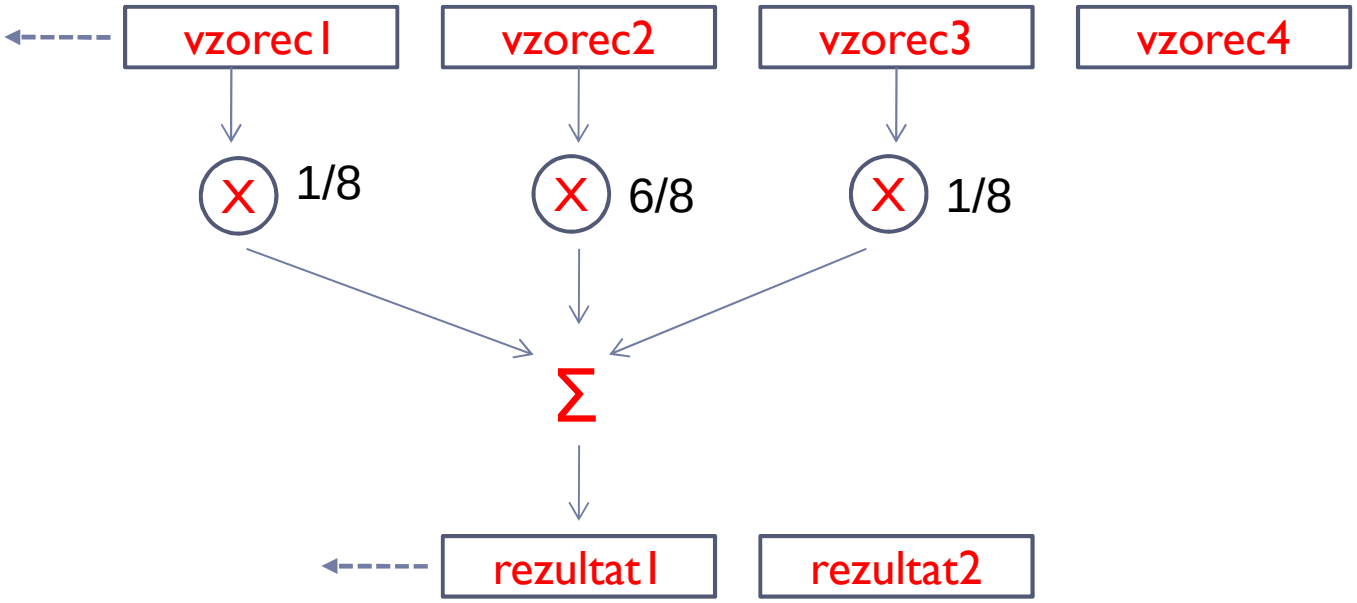
Množenje in deljenje

- Nekateri procesorji AVR imajo 8-bitni strojni množilnik
  - Rezultat se izračuna v dveh urnih ciklih in shrani v R1 R0
    - Npr. R16 vsebuje vrednost 100, R17 vsebuje vrednost 200
    - MUL R16, R17
    - produkt je 16-bitna vrednost, rezultat: R1 <= $4E, R2 <= $20

- Množenje ali deljenje z 2 s pomikanjem bitov
- Pomakni bite v bajtu na levo (LSL) ali desno (LSR)
  - Npr. LDI R16, 0b11011100; (220_{10})
  - LSL R16; rezultat 0b10111000 (184_{10}) in zastavica C=1
  - LSR R16; rezultat 0b01101110 (110_{10}), C=0
    - prazna mesta se zapolnijo z ničlami
    - bit, ki pri prenosu izpade, se shrani v zastavico C

Primer: filtriranje podatkovnega toka

- Zaporedje digitalnih vzorcev pošljemo skozi sito
  - obdelava zvoka, slike …
- Filtriranje izvedemo z matematično konvolucijo, kjer zaporedne vzorce množimo s konstantami in seštejemo
- Npr. Gaussovo nizko sito s koeficienti 1/8, 6/8, 1/8

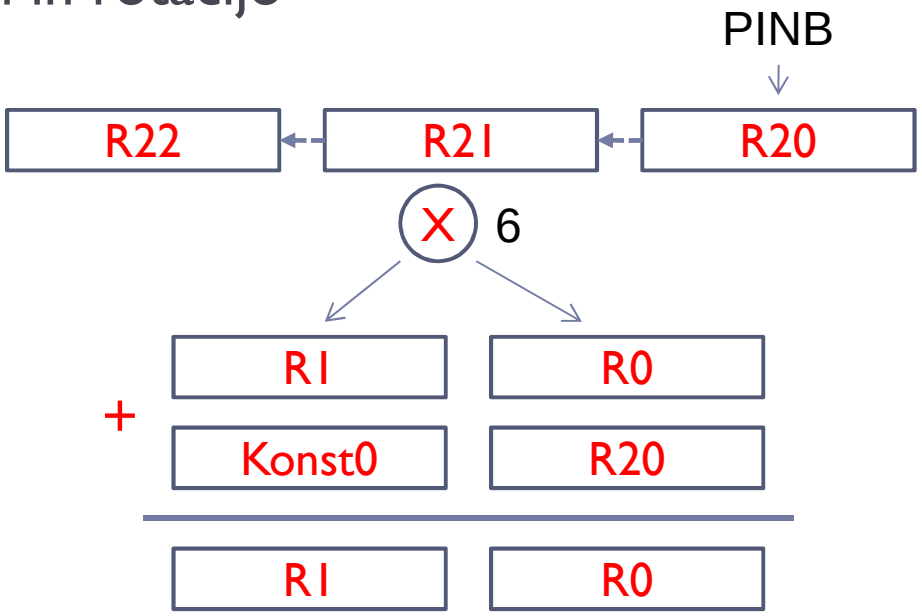


Izvedba konvolucije s procesorjem

- 8-bitne vzorce preberemo iz PINB
- naredimo množenje s 6 in seštejemo 16-bitne vrednosti
- naredimo deljenje z 8 s pomikom in rotacijo

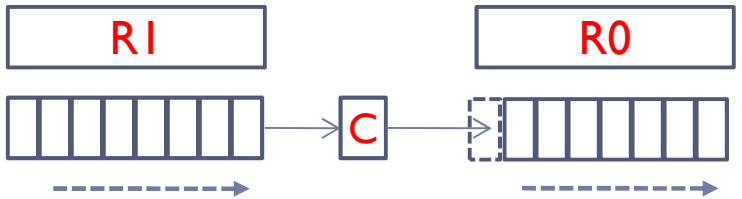
```
loop:
   MOV r22, r21   ;premakni
   MOV r21, r20   ;premakni
   IN  r20, PINB ;beri

   MUL r21, Konst6   ; x6
   ADD r0, r20       ;vsota
   ADC r1, Konst0    ;prenos
   ADD r0, r22       ;vsota
   ADC r1, Konst0    ;prenos
```



Izvedba konvolucije s procesorjem 2

- naredimo deljenje z 8 s pomikom in rotacijo
- pošljemo rezultat na PORTD




```
LSR r1    ; 3x pomik
ROR r0    ; in rotacija
LSR r1
ROR r0
LSR r1
ROR r0

OUT PORTD, r0   ; izhod
JMP loop
```

Delovanje procesorja

- Za izračun enega rezultata potrebujemo 20 urnih ciklov
- Kako vemo, kdaj je na voljo podatek (rezultat) ?

1. Naredimo usklajevalni protokol z uporabo ostalih priključkov
   - potrebnih je še več ciklov

2. Napišemo zanko v prekinitveni rutini
   - procesor ob zuanjem prekinitvenem signalu skoči na rutino in napravi en računski cikel
   - komunikacijske enote izvedejo prekinitev, ko dobijo nov podatek