Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca
Departamentul Calculatoare

Proiectarea cu Micro-Procesoare

Lector: Mihai Negru

An 3 – Calculatoare și Tehnologia Informației

Seria B

Curs 1: Introducere

https://mihai.utcluj.ro/

Introducere

- **Obiective**
  - Cunoaşterea, înţelegerea şi utilizarea conceptelor: microprocessor, magistrală, memorie, sistem de intrare-ieşire, metode de transfer a datelor, interfeţe.
  - Analiza şi proiectarea sistemelor cu microprocessor.
- **Cunoștințe preliminare necesare**
  - Proiectare Logică, Proiectarea sistemelor numerice, Arhitectura Calculatoarelor, Programare în Limbaj de Asamblare, Programarea Calculatoarelor (C/C++)
- **Structura disciplinei**
  - 2C + 1L + 1P / săptămână
- **Structura cursului**
  - Partea 1 – ATMEL (ATmega2560, Arduino) și aplicații
  - Partea 2 – aspecte ale proiectării sistemelor cu microprocesor (exemplificate folosind familia x86)
- **Tematica laboratorului**
  - Lucrări practice folosind plăci Arduino (ATmega2560 (MEGA2560), ATmega328P(UNO)) și multiple module periferice (modules)

Bibliografie

- **Slide-urile de curs,** disponibile pe site:
  - **http://users.utcluj.ro/~negrum/src/html/dmp.html**
- **Microcontrolere**
  - G. Grindling, B. Weiss, Introduction to Microcontrollers, Vienna Univ. of Technology, 2007: https://ti.tuwien.ac.at/ecs/teaching/courses/mclu/theory-material/Microcontroller.pdf
- **Atmel AVR, Arduino**
  - M. A. Mazidi, S. Naimi, S. Naimi, The AVR Microcontroller and Embedded Systems Using Assembly And C, 1-st Edition, Prentice Hall, 2009.
  - Michael Margolis, Arduino Cookbook, 2-nd Edition, O'Reilly, 2012.
- **Familia 8086**
  - Barry B. Brey, The Intel Microprocessors: 8086/8088, 80186,80286, 80386 and 80486. Architecture, Programming, and Interfacing, 4-rd edition, Prentice Hall, 1997
  - S. Nedevschi, L. Todoran, „Microprocesoare", editura UTC-N, 1995, Biblioteca UTCN
- **Documente suplimentare**
  - Data sheets Atmel, Intel etc.
  - Tuturiale Arduino: **https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage**

Evaluare

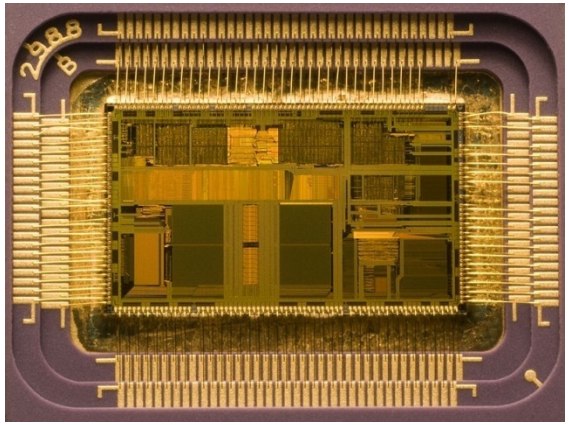
- **Evaluare:** nota examen (E) + nota laborator / proiect (LP)

```
if (LP > = 5) AND (E > = 4.5)
       Final_mark = 0.5 * LP + 0.5 * E
else
     Final_mark = 4 OR Absent
```

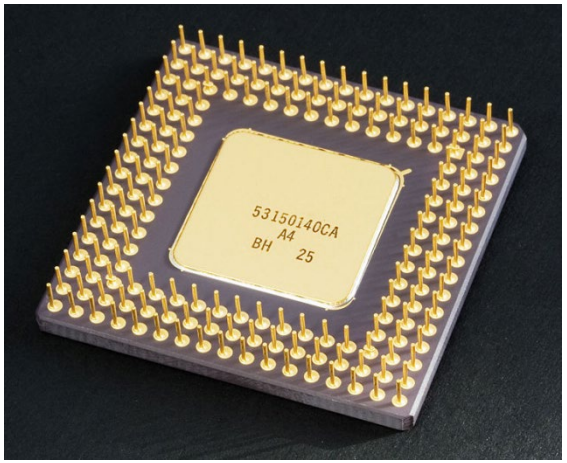
- **Bonus** – se poate acorda pentru activitate deosebită la curs / laborator, sau pentru participarea la concursuri studențești de hardware

Ce este un microprocessor?

- Un **microprocesor** încorporează toate sau majoritatea funcțiilor unei **unități centrale de procesare** într-un singur circuit integrat.
- O unitate centrala de procesare **(Central Processing Unit, CPU)** este o mașina logică ce poate executa programe de calculator.
- Funcția fundamentală a oricărui CPU, indiferent de forma fizica pe care o are, este sa execute o **secvență de instrucțiuni (programul)**, stocate într-o memorie. Execuția instrucțiunilor se face de obicei în patru pași: citire instrucțiune (**fetch**), decodificare (**decode**), execuție (**execute**) si scriere rezultate (**write back**).



Intel 80486DX2 – interior

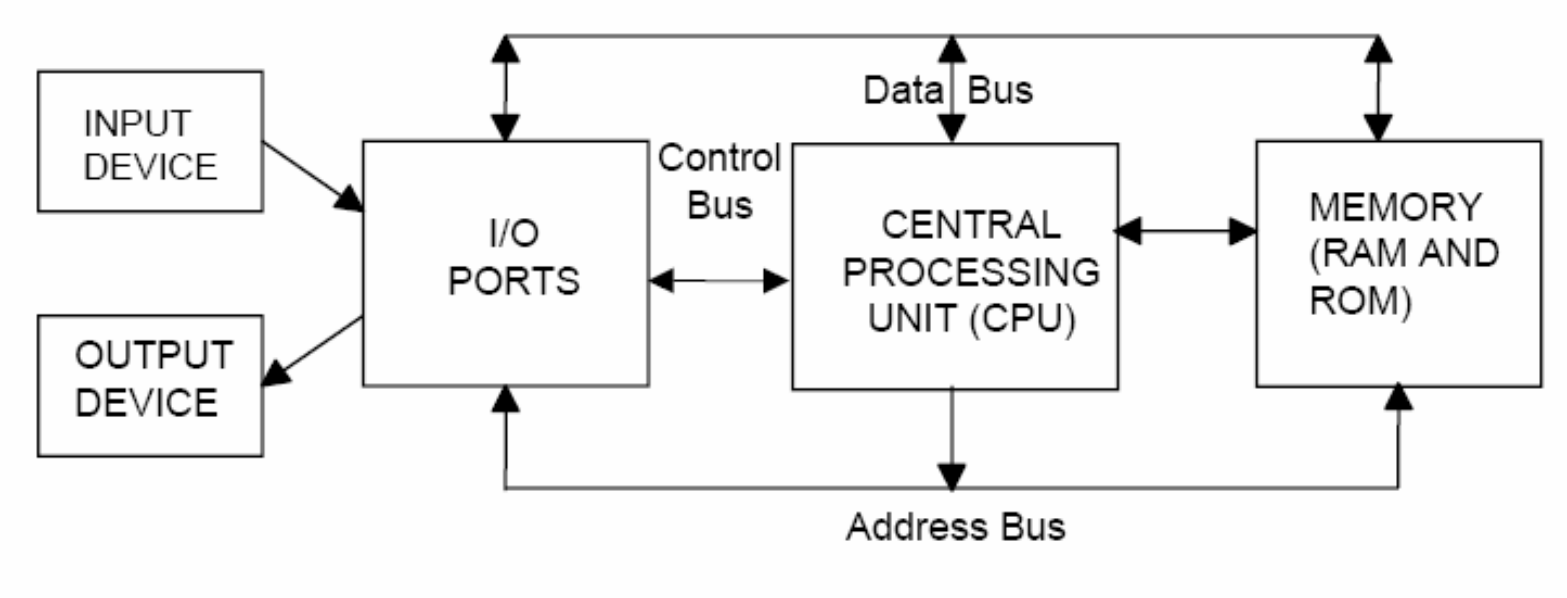


Intel 80486DX2 – vedere exterioara

Scurtă istorie

- Microprocesoare
  - 4 bit: Intel's 4004 (1971), Texas Instruments (TI) *TMS* 1000, si Garrett AiResearch's Central Air Data Computer (CADC).
  - 8 bit: 8008 (1972), primul procesor pe 8 biți. A fost urmat de Intel 8080 (1974), Zilog Z80 (1976), si alte procesoare derivate pe 8 biți de la Intel. Competitorul Motorola a lansat Motorola 6800 in August 1974. Arhitectura acestuia a fost clonată si îmbunătățita in MOS Technology 6502 in 1975, cu popularitate similara lui Z80 in anii 1980.
  - 16 bit (Intel 8086, 80186, 80286, 8086 SX, TMS 9900)
  - 32 bit (MC68000, Intel 80386DX, 80486DX, Pentium, MIPS R2000 (1984) si R3000 (1989) etc.)
  - 64 bit (majoritatea procesoarelor moderne)
- Tipuri:
  - RISC: MIPS (R2000, R3000, R4000), Motorola 88000, AVR
  - CISC: VAX, PDP-11, Motorola 68000, Intel x86

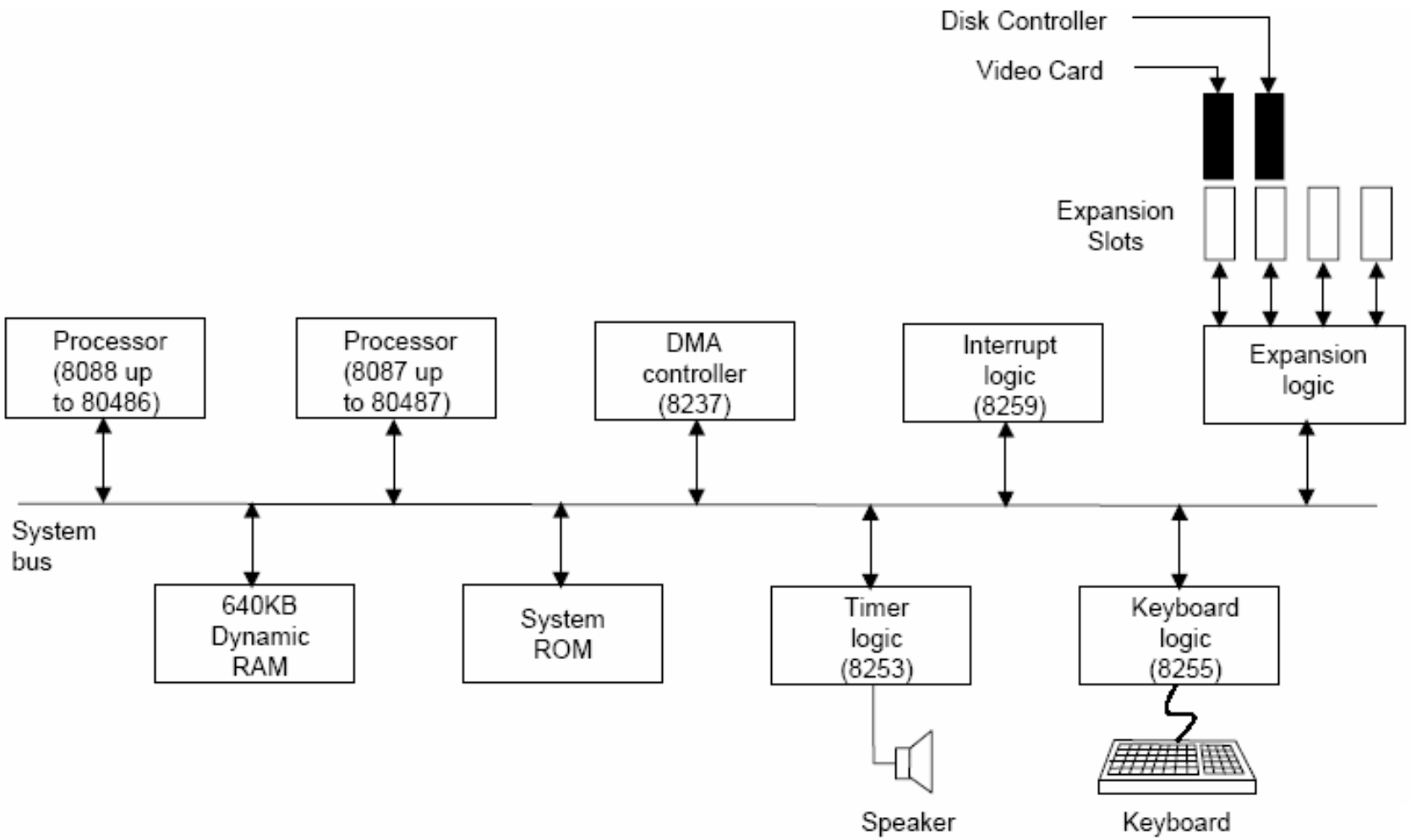
Sisteme cu microprocesor



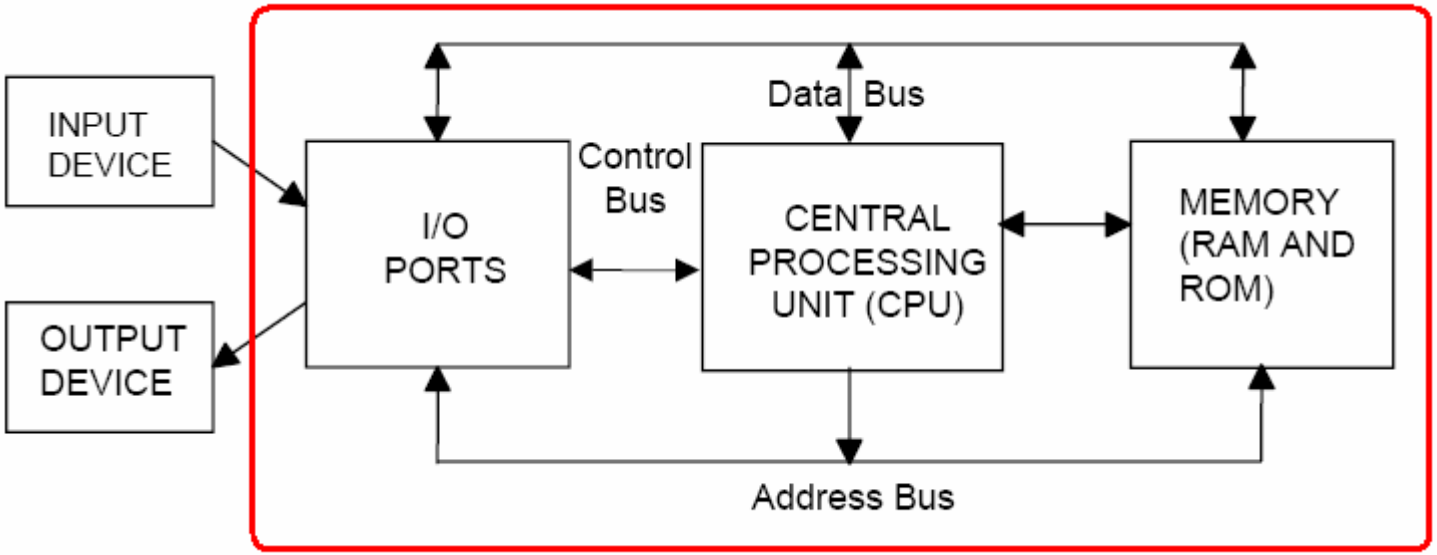
Dispozitive esențiale: CPU, Memorie, I/O

Dispozitive adiționale: Controller întreruperi, DMA, coprocesor, etc

Exemplu: placă de bază PC



Microcontroler (MCU)



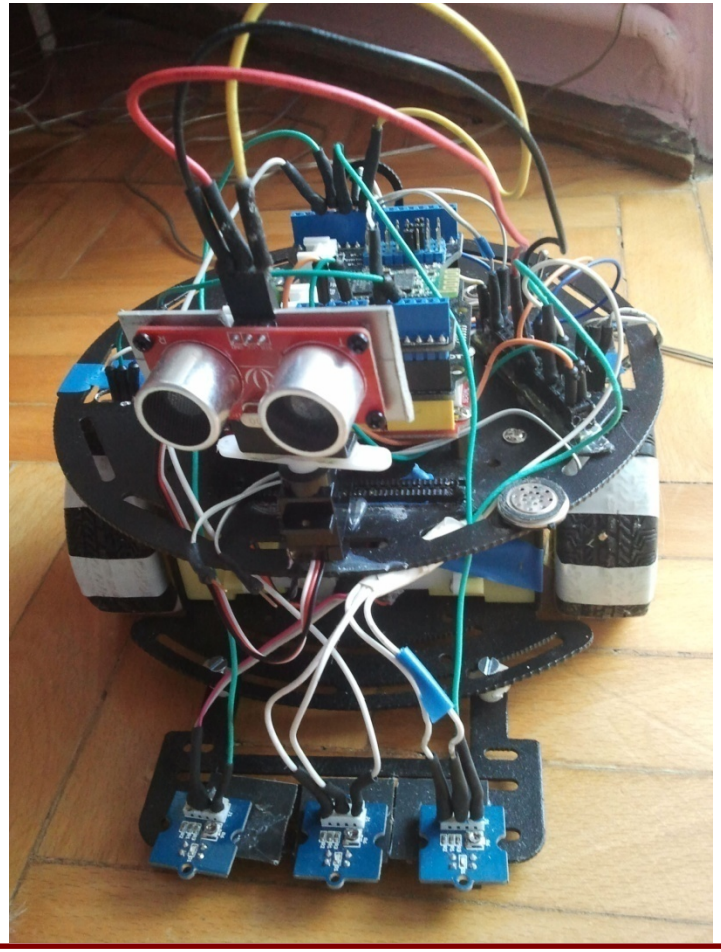
Multiple componente ale unui sistem cu microprocesor sunt incluse in același circuit integrat – Microcontroler

- Memorie RAM si ROM (Flash), pentru program si date
- Unele dispozitive periferice (Timer, Numărător, Controllere pentru comunicații seriale / paralele, etc.)

Proiectarea cu Microprocesoare

- **Obiectiv general:** utilizarea microprocesoarelor (microcontrolerelor) în dezvoltarea de sisteme electronice adaptate unor probleme specifice.
- **Exemple de aplicații:** roboți autonomi, senzori inteligenți, senzori mobili, procesare de semnal audio, procesare de imagini, controlul automat al unor procese, etc.
- **Pașii pentru îndeplinirea acestui obiectiv:**
  - Studiul capabilităților microcontrolerului, familiarizarea cu programarea acestuia
  - Studiul resurselor integrate in microcontroler si resurselor disponibile pe placa cu microcontroler
  - Studiul dispozitivelor externe necesare pentru rezolvarea unor probleme specifice
  - Studiul interfețelor de comunicare, a formatului datelor, si a diagramelor de timp, necesare pentru conectarea microcontrolerului la dispozitivele externe.

- **Exemplu:** proiectarea unui robot capabil să se deplaseze autonom, evitând obstacolele, sau sub controlul unui operator uman, sau ghidat de o bandă de culoare închisa.



Microcontroler: AVR ATMega328, placă Arduino, programare in C/C++

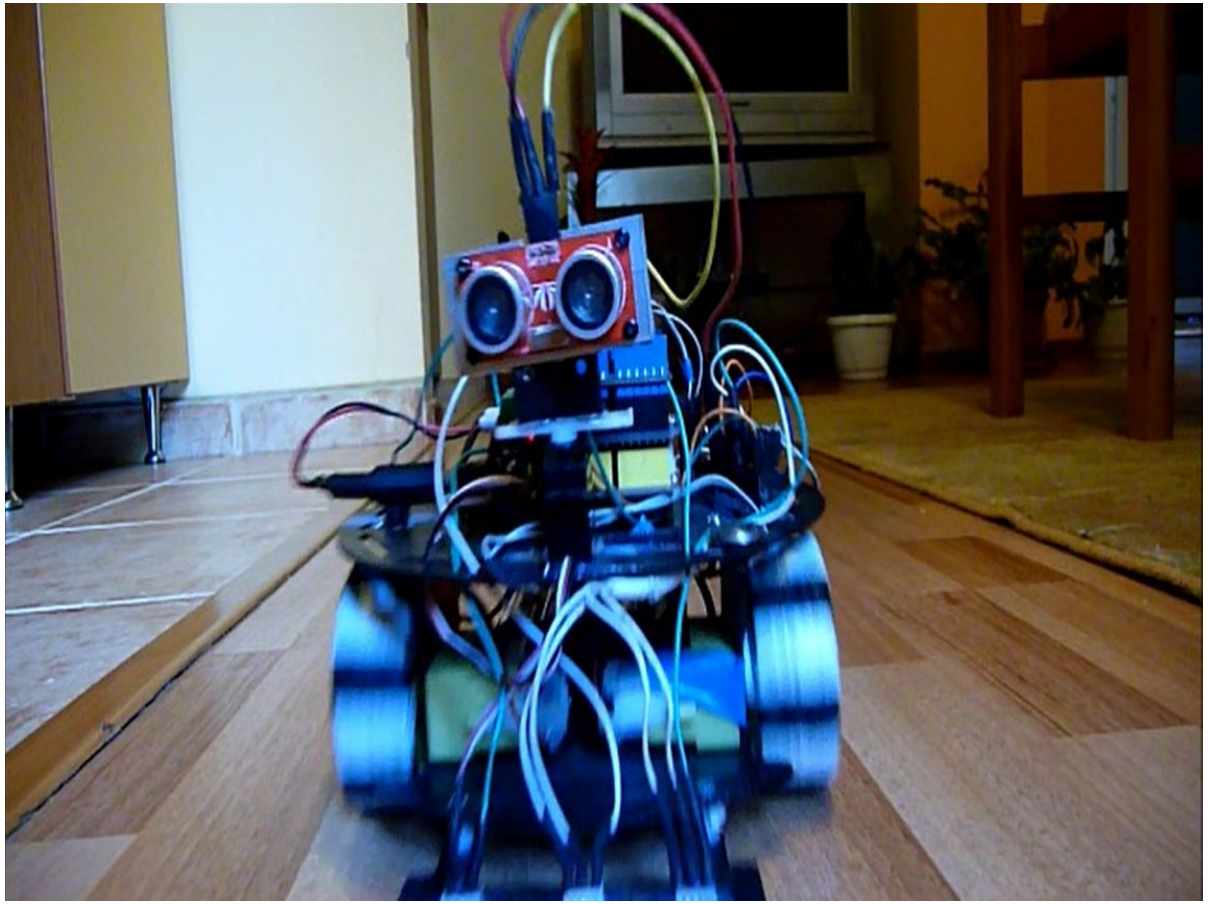
Componente interne: porturi I/O, întreruperi, interfață de comunicare seriala, generator PWM

Componente externe: motoare DC, 1 motor servo, senzori de reflectivitate, punte H, senzor de distanta sonar, modul de comunicare Bluetooth.

Comunicare: seriala, tip UART, intre MCU si modulul Bluetooth, PWM intre MCU si servo, si intre MCU si puntea H, semnal analogic de la senzorii de reflectivitate, puls digital intre sonar si MCU.

Algoritmi: scanare mediu si detecția obstacolelor, urmărirea liniei, controlul roților pentru mersul in linie dreapta, etc.

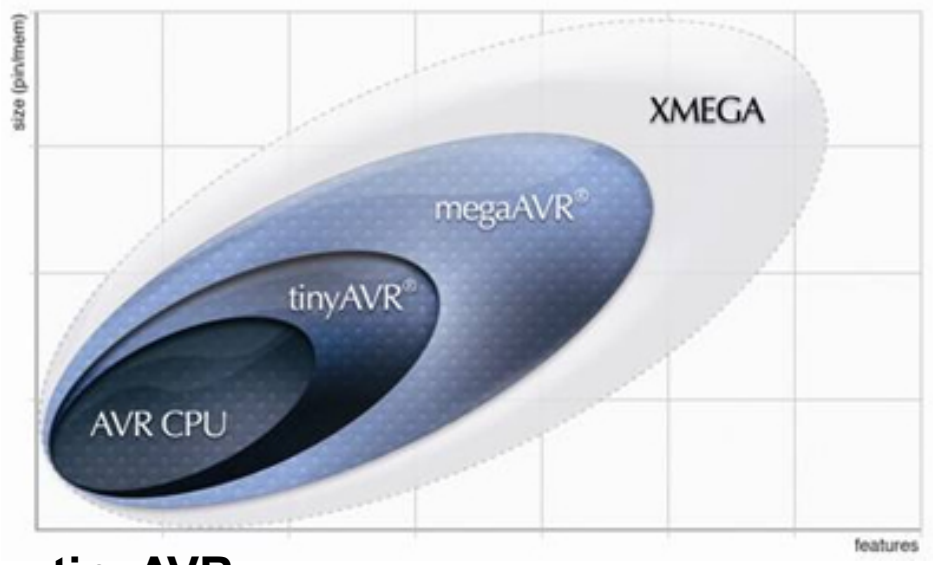
- **Exemplu:** proiectarea unui robot capabil să se deplaseze autonom, evitând obstacolele, sau sub controlul unui operator uman, sau ghidat de o bandă de culoare închisa.



- **Exemplu:** proiectarea unui robot capabil să se deplaseze autonom, evitând obstacolele, sau sub controlul unui operator uman, sau ghidat de o bandă de culoare închisa.

Familia de microcontrolere Atmel AVR 8 biți

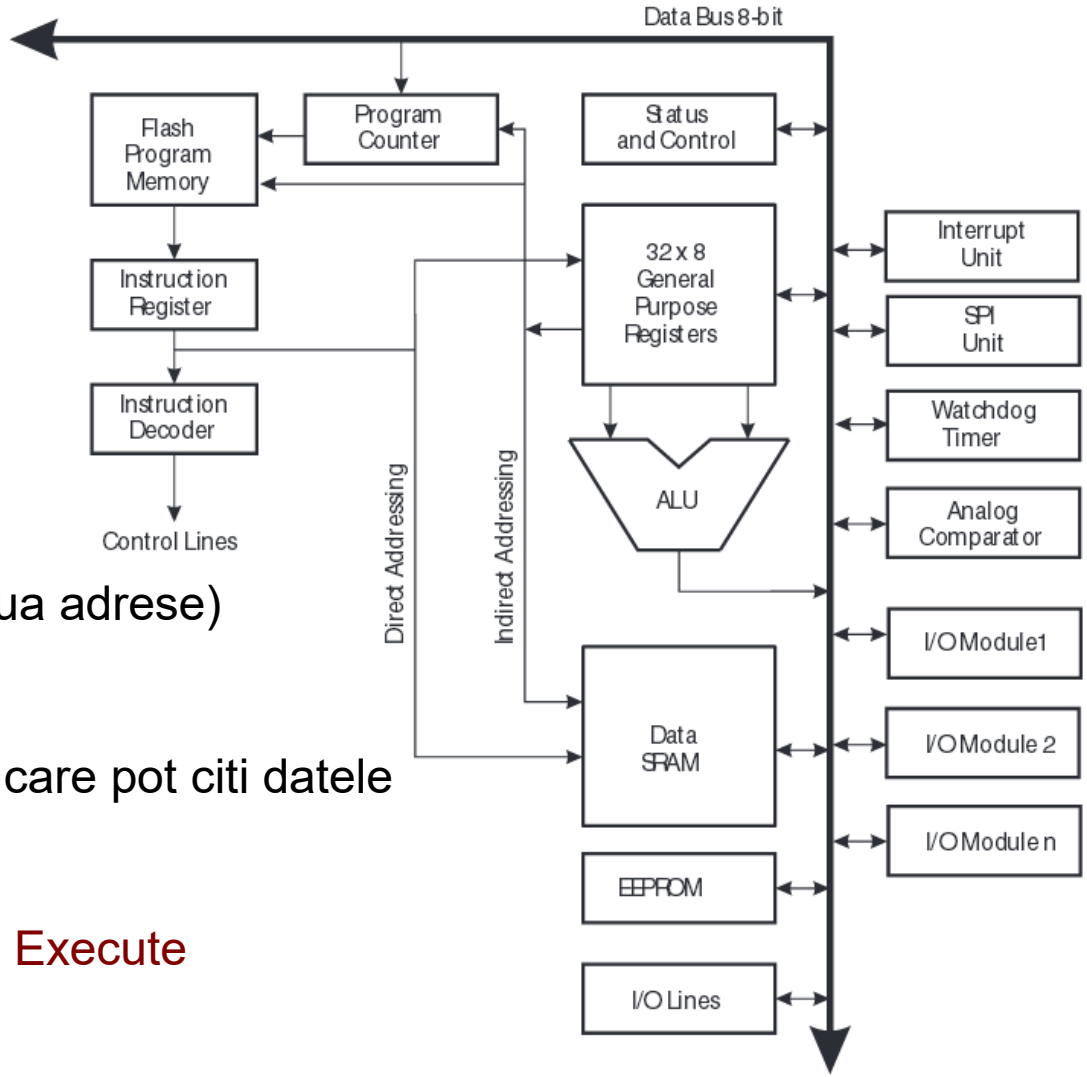
- Arhitectura RISC
- Execuție 1 instrucțiune / ciclu
- 32 regiștri de uz general
- Arhitectura Harvard
- Tensiune de alimentare 1.8 - 5.5V
- Frecventă controlată software
- Mare densitate a codului
- Gama larga de dispozitive
- Număr de pini variat
- Compatibilitatea integrală a codului
- Familii compatibile între pini și capabilități
- Un singur set de unelte de dezvoltare



tinyAVR
1–8 kB memorie program
megaAVR
4–256 kB memorie program
Set extins de instrucțiuni (înmulțire)
XMEGA
16–384 kB memorie program
Extra: DMA, suport pentru criptografie

AVR specific pentru aplicații
megaAVR cu interfețe particulare: LCD, USB, CAN etc.

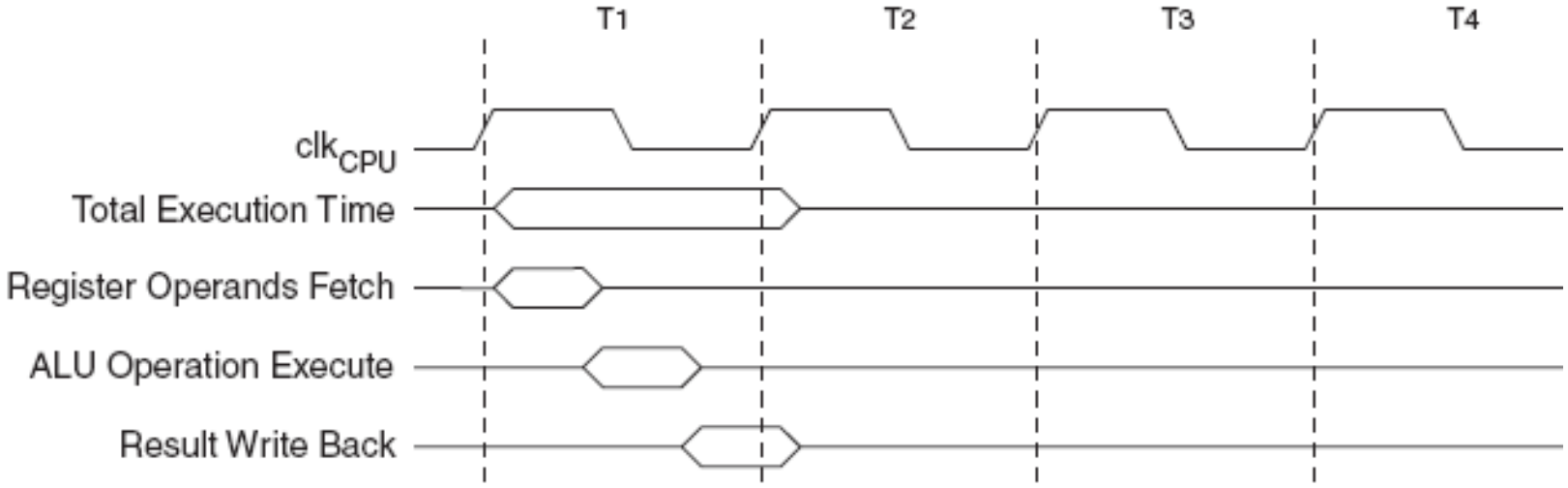
Arhitectura generală a unui microcontroler AVR



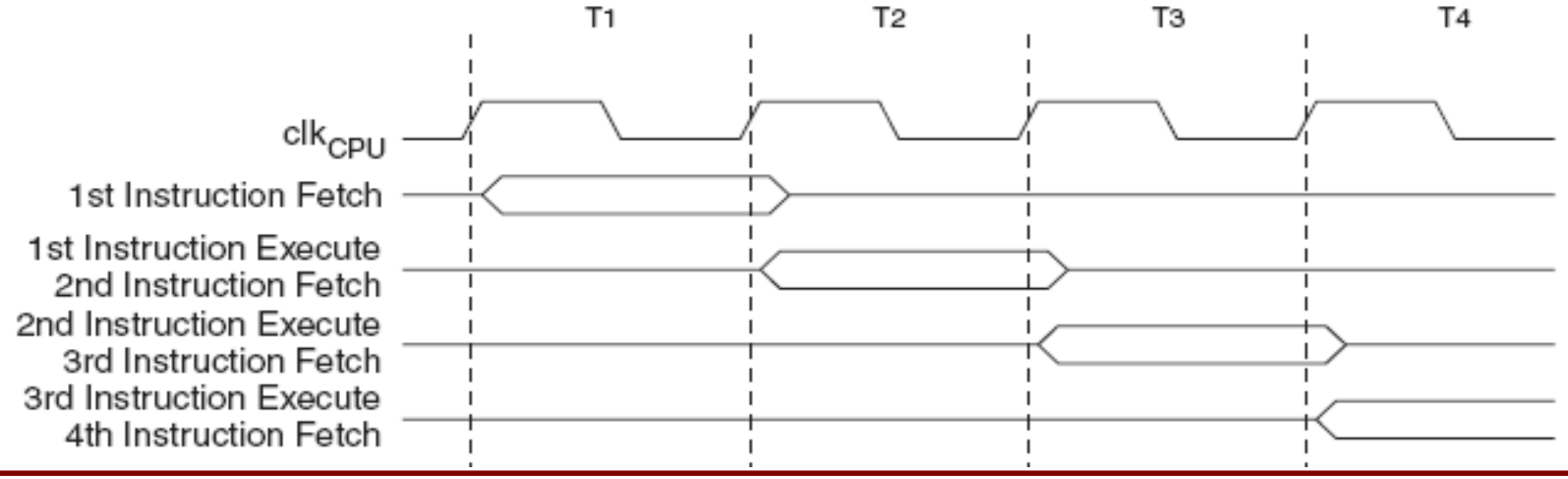
- Mașină RISC (Load-Store cu doua adrese)
- Arhitectura Harvard modificată
  - exista instrucțiuni speciale care pot citi datele din memoria program
- Pipeline pe doua nivele: Fetch & Execute

Diagrame de timp AVR

Execuția instrucțiunilor aritmetico-logice

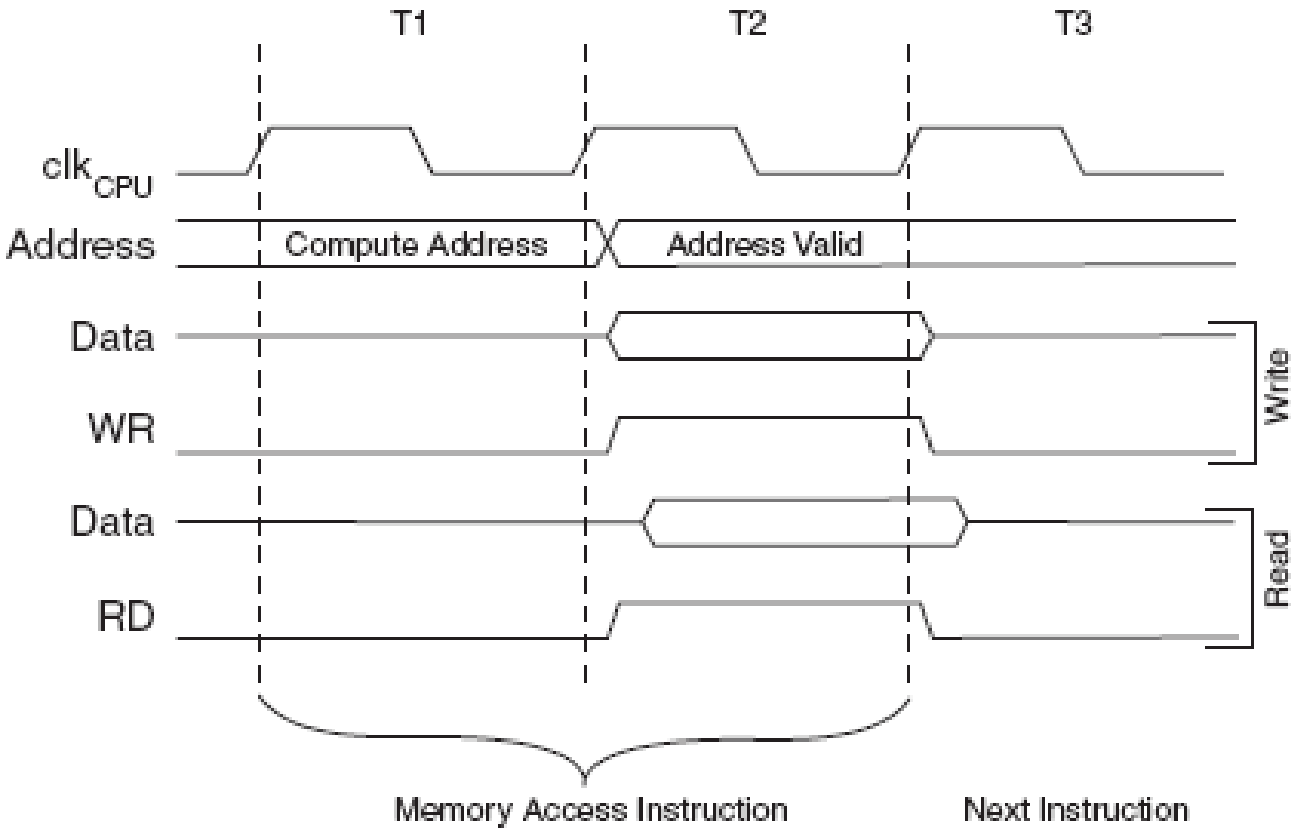


Pipeline asigură suprapunerea citirii următoarei instrucțiuni cu execuția celei curente



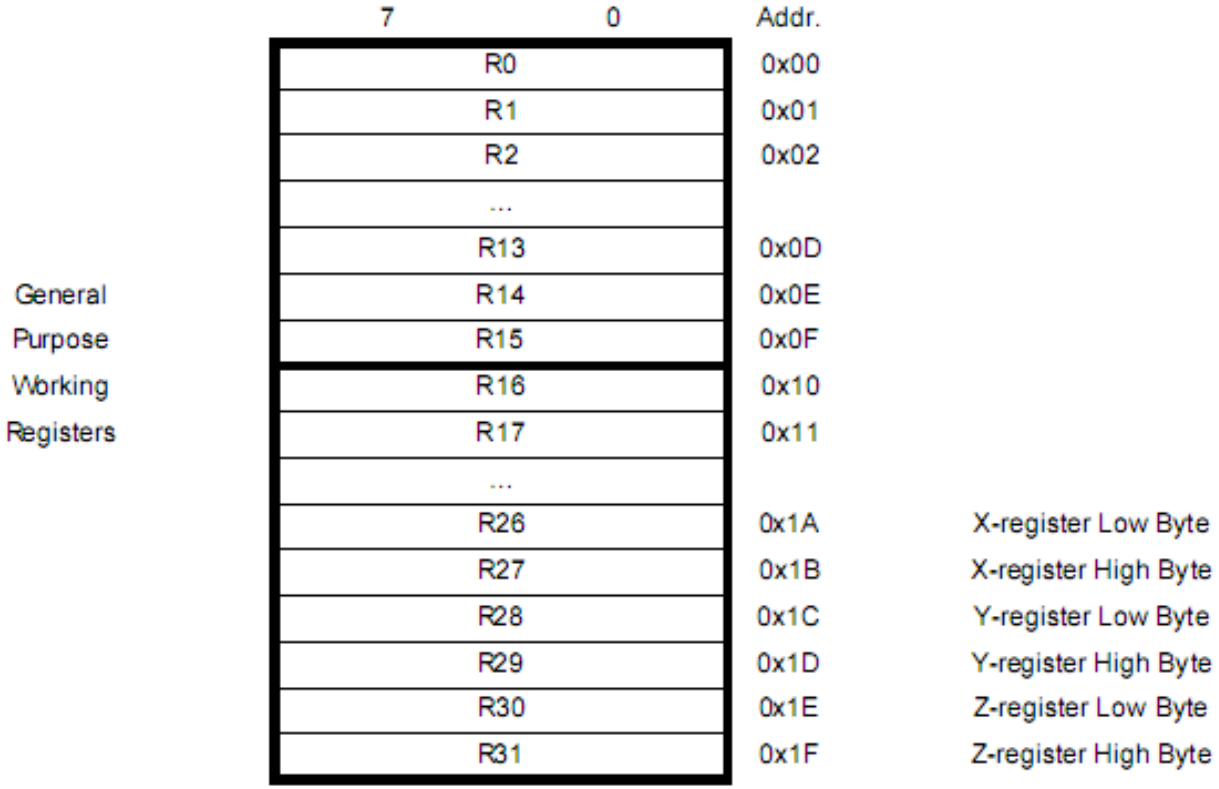
Diagrame de timp AVR

Instrucțiunile care accesează memoria interna SRAM
2 cicluri de ceas / instrucțiune



Registri de uz general (General Purpose Registers – GPR)

- Valori imediate se pot încarcă doar in regiștrii R16-R31
- Regiștrii R26 – R31 sunt folosiți în perechi ca și pointeri
- Fiecare registru are și o adresă în spațiul memoriei de date – adresare uniformă



Operații cu regiștri

- Copiere date

```
mov r4, r7
```

- Lucrul cu valori imediate – posibil doar cu regiștrii r16 – r31

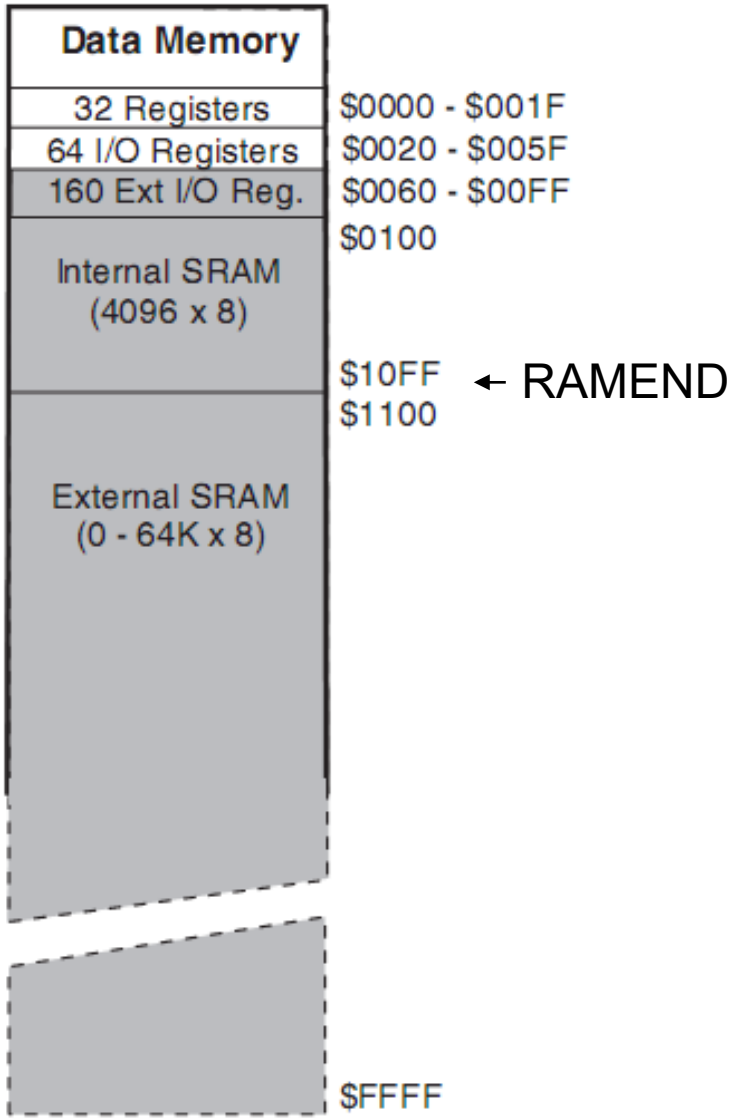
```
ldi r16, 5
ori r16, 0xF0
andi r16, 0x80
subi r20, 1
```

- Operații aritmetice și logice între regiștri

```
add r1, r2
or r3, r4
lsl r5
mul r5, r18        – r1:r0 = r5*r18
rol r7
ror r9
inc r19
dec r17
```

Memoria de date

- Primele 32 de adrese – blocul de regiștri
- 64 de adrese – regiștri I/O accesabili prin instrucțiuni speciale
- 160 adrese – spațiu I/O extins, accesabil prin instrucțiuni standard de acces la memorie
- SRAM, de ordinul Kbytes (2, 4, 8 …)
- Posibilitate de extensie pana la 64 KB
- Constanta predefinita RAMEND marchează sfârșitul memoriei de date interne



Operații cu memoria de date

- Accesarea directă a memoriei de date

```
lds r3, 0x10FE
lsl r3
sts 0x10FE, r3
```

- Accesarea indirectă a memoriei de date, prin intermediul regiștrilor X, Y, Z

```
ldi r27, 0x10        octetul superior al lui X este r27
ldi r26, 0xFE        octetul inferior al lui X este r26
ld r0, X
lsl r0
st X, r0
```

- Accesarea cu autoincrementare/decrementare a adresei

```
ld r0, X+        se accesează locația X, apoi se incrementează X
ld r0, +X        se incrementează X, apoi se accesează locația X
ld r0, X-
ld r0, -X
```

Memoria program

- Memorie flash, pentru programarea aplicațiilor
- Organizată în cuvinte de 16 biți
- Două secțiuni: Boot și Aplicație
- Cel puțin 10.000 cicluri scriere/ștergere
- Constante pot fi declarate în segmentul de cod, ele vor fi stocate în memoria program

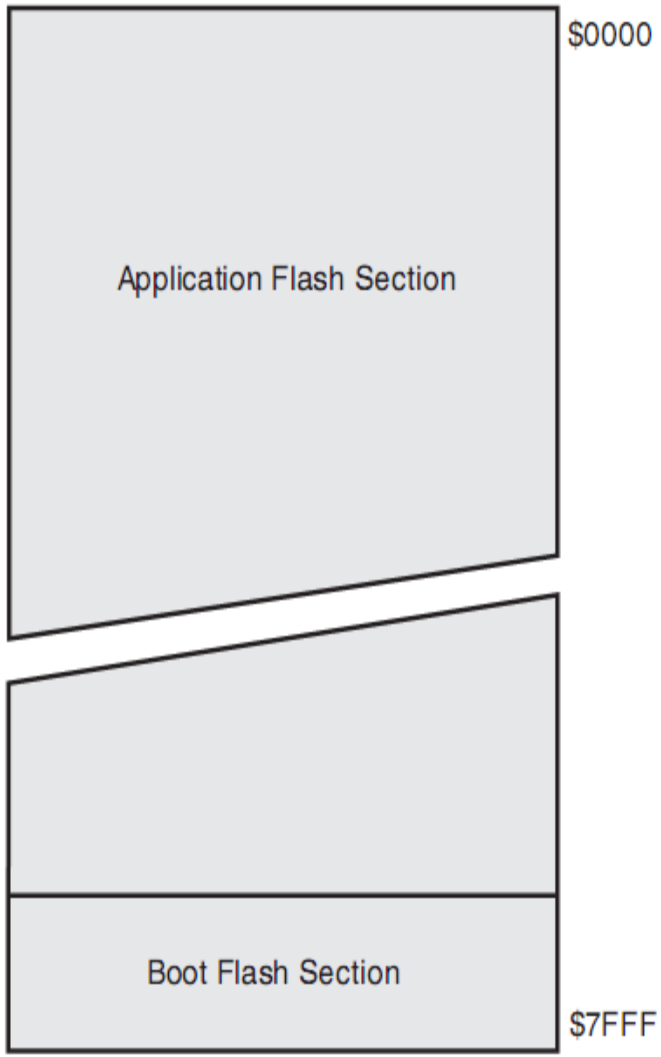
- Accesarea memoriei program:
  - **Citirea** – accesul este la nivel de BYTE, adresarea se face doar prin pointerul Z

    LPM r5, Z

    LPM r5, Z+

    LPM r0 este destinație, Z adresa
  - **Scrierea** – doar pe cuvânt

    SPM PM(Z) <= R1:R0



Registrul de stare SREG

- Registrul SREG (8 biți) conține informații despre starea sistemului și rezultatul unor operații
- Folosit pentru modificarea comportamentului programului sau pentru salturi condiționate
- Nu este salvat automat la apelul procedurilor sau la execuția întreruperilor!

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x3F (0x5F)	I	T	H	S	V	N	Z	C	SREG
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

- I – activarea globala a întreruperilor
- T – bit de transfer, poate fi copiat prin instrucțiunile BLD și BST din alt registru
- H – carry între jumătăți de octet, folositor pentru operații BCD
- S – N xor V, pentru teste între numere cu semn
- V – indicator de overflow la operații în complement fata de 2
- N – indicator de rezultat negativ
- Z – indicator al unui rezultat nul
- C – carry

Instrucțiuni de salt

- Salturi necondiționate

  RJMP – salt relativ, PC +- 2KB

  JMP – salt absolut

  IJMP – salt indirect, la adresa indicata de pointerul Z

- Salturi condiționate

  CP, **CPI** – compară doua numere

  BREQ – salt daca flagul Z este setat (numerele comparate sunt egale)

  BRNE – salt daca numerele nu sunt egale

  BRCS – salt daca flagul C este setat

  SBRS – sare peste următoarea instrucțiune daca un bit într-un registru e setat

  SBRS r5, 2 – daca bitul 2 din reg. 5 este setat, execută saltul

  SBRC, **SBIS, SBIC** (I/O register set/clear)

- Apeluri de procedură

  RCALL, CALL, ICALL – se salvează adresa de revenire în stiva, nu se salvează nimic altceva

- Revenire din procedură

  RET – extrage adresa de revenire din stivă și execută salt la această adresă

Exemple

C

```
char a, b;
…
a = b;
```

AVR ASM

```
lds r24, b
sts a, r24
```

C

```
char a;
…
a = 0x10;
```

AVR ASM

```
ldi     r24, 0x10   ; Load imm 10
sts     a, r24      ; Store to a
```

Exemple

C

```
int a = *pInt;
```

AVR ASM

```
; Use the Z register (R31:R30)
lds R30, pInt      ; Load from pInt
lds R31, pInt+1    ;
ld  r24, Z         ; load from (*pInt)
ldd r25, Z+1       ;
sts a,   r24       ; store to a
sts a+1, r25       ;
```

Exemple

C

```
void strcpy (char *dst, char *src)
{
    char ch;

    do {
        ch = *src++;
        *dst++ = ch;
    } while (ch);
}
```

AVR ASM

```
; dst in R25:R24, src in R23:R22
strcpy:
    movw r30, r24     ; Z<=dst
    movw r26, r22     ; X<=src
loop:
    ld   r20, X+      ; ch=*src++
    st   Z+, r20      ; *dst++=ch
    tst  r20          ; ch==0?
    brne loop         ; loop if not
    ret
```

MOVW	Rd, Rr	Copy Register Word	Rd+1:Rd ← Rr+1:Rr

Exemple

C

```
int a, b;
…
a = a + b;
```

AVR ASM

```
lds   r18, a     ; load a
lds   r19, a+1   ;
lds   r24, b     ; load b
lds   r25, b+1   ;
add   r24, r18   ; add lower half
adc   r25, r19   ; add higher half
sts   a+1, r25   ; store a.byte1
sts   a, r24     ; store a.byte0
```

Exemple

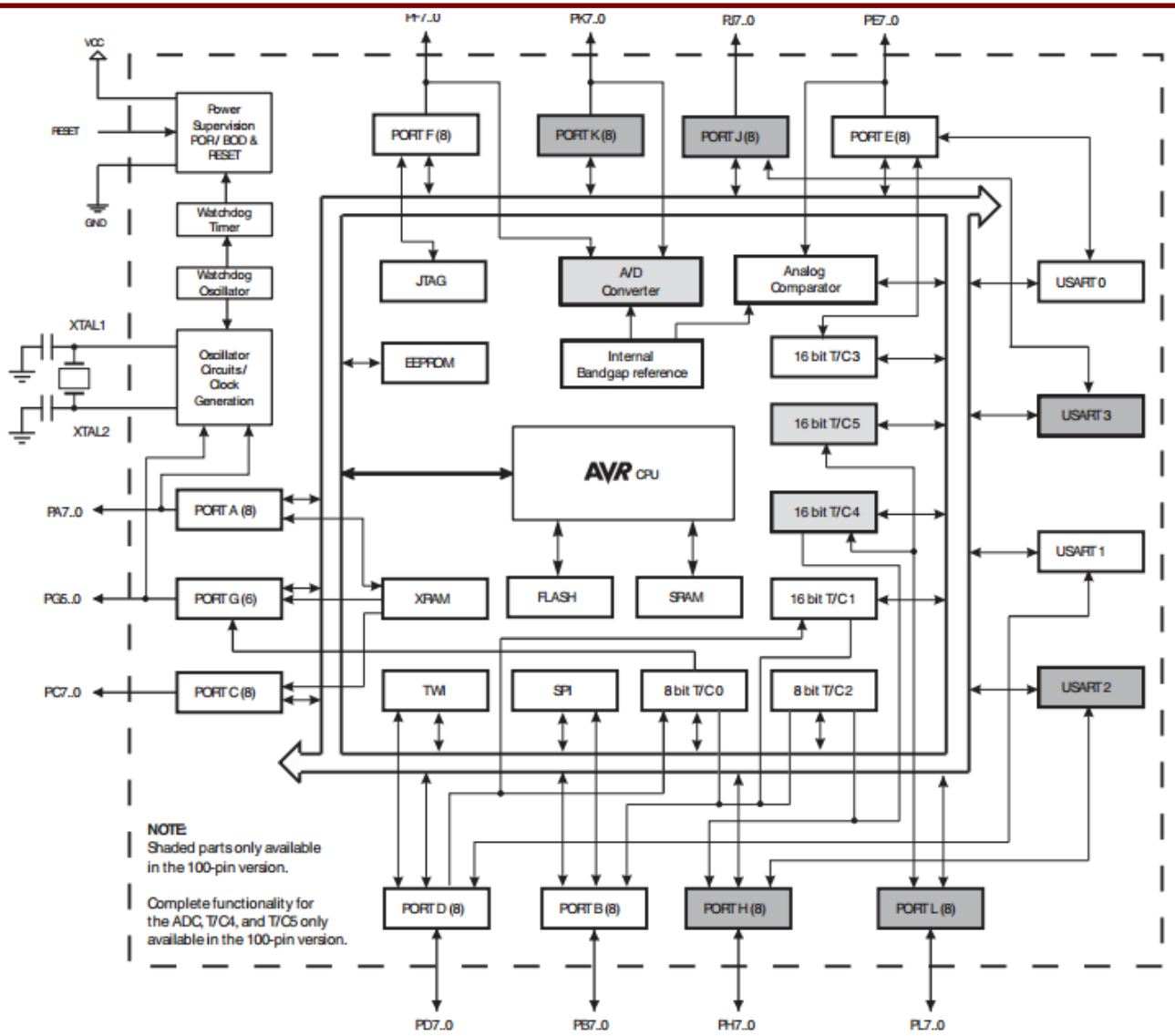
C

```
char sum, n;
...
for (n = 0; n < 10;
   n++)
   sum += n;
```

AVR ASM

```
; assume r16=n, r3=sum
        clr     r16         ; n = 0
        rjmp    check
loop:   add     r3, r16     ; sum+= n
        inc     r16         ; n++
check:  cmpi    r16, 10     ; comp n and 10
        brlt    loop        ; br if n<10
```

Microcontrolerul AVR Atmega 2560



Date tehnice Atmega 2560

- 135 Instrucțiuni, majoritatea executate pe 1 ciclu de ceas
- 32 regiștri pe 8 biți
- Memorie program Flash reprogramabilă – 256 K Bytes
- Memorie EEPROM – 4 K Bytes
- Memorie SRAM internă – 8 K Bytes
- Cicluri de citire/scriere posibile: 10,000 Flash / 100,000 EEPROM
- Pană la 64 KB spații de adresă pentru memoria externa

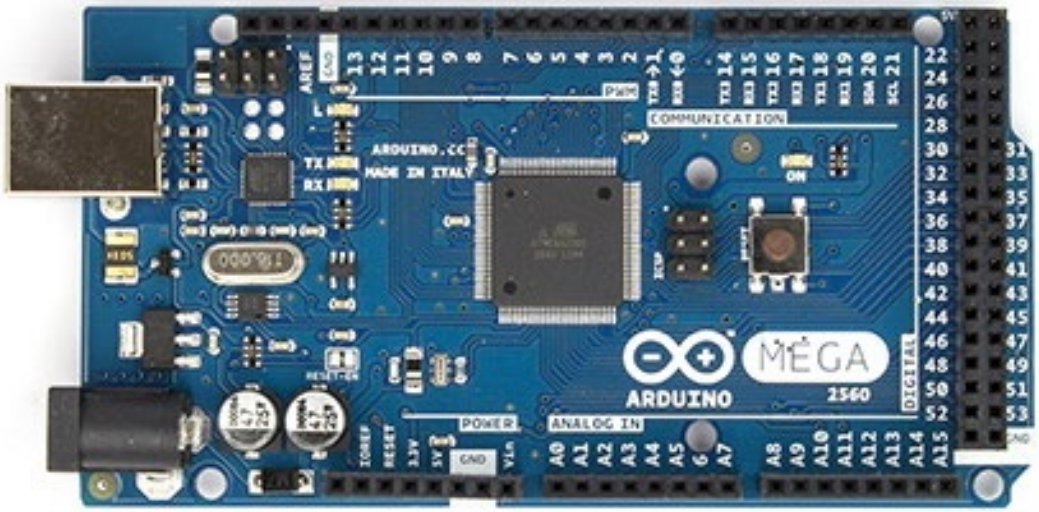
- **Periferice integrate pe chip**
- Două temporizatoare / numărătoare pe 8-biti
- Patru temporizatoare / numărătoare pe 16 biți
- 4 canale PWM pe 8 biți, 12 canale PWM pe 16 biți
- 16 canale de conversie Analog / Digital pe 10 biți
- 4 interfețe programabile USART
- Interfață SPI
- Interfață two-wire (TWI), similară cu I2C
- Generare de întreruperi prin schimbarea stării pinilor

Arduino

- Plăci cu microcontroler, și unelte de dezvoltare software open source
- Ascunde detaliile specifice diferitelor microcontrolere, folosind o abordare unificată
- Este disponibilă o largă mulțime de placi, shield-uri și accesorii
- O cantitate impresionantă de documentație gratuită sau contra cost
- O cantitate impresionantă de exemple pentru orice problemă

- Site web: **www.arduino.cc**
- Distribuitori in Romania: **www.robofun.ro**

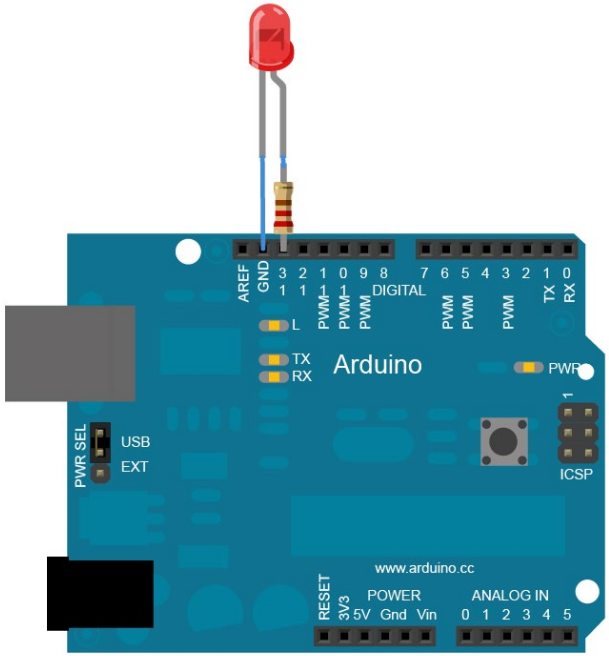
Arduino Mega 2560



- Bazată pe microcontrolerul ATMega2560, pe 8 biți
- 54 pini de I/O digitali
- 16 pini de intrare pentru semnale analogice
- 4 porturi de comunicare serială UART
- Frecvența procesorului: 16 MHz
- Alimentare și programare prin cablu USB

Un exemplu de program Arduino

- Aprindere intermitentă a unui LED, conectat la un pin digital de ieșire (digital output)



Un exemplu de program Arduino

```
/*
  Blink
  Turns on an LED on for one second, then off for one second, repeatedly.

  This example code is in the public domain.
 */

// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
// give it a name:
int led = 13;

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH);   // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000);               // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW);    // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000);               // wait for a second
}
```