Μικροελεγκτές AVR

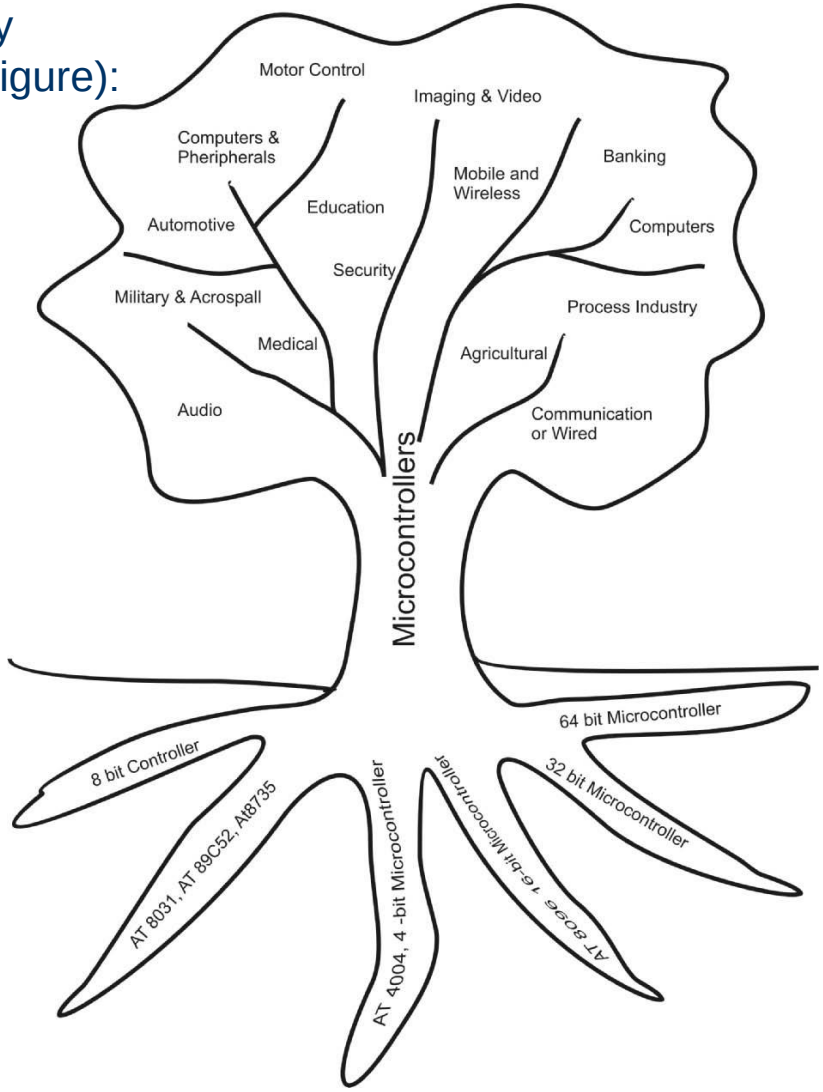
2η ΕΝΟΤΗΤΑ:
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΕ ΓΛΩΣΣΑ C ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ε.Μ.Π.
Εργ. Μικροϋπολογιστών & Ψηφιακών Συστημάτων
Υπεύθυνος: Κ. ΠΕΚΜΕΣΤΖΗ Καθ.

Microcontroller application tree

The microcontroller applications are mainly categorized into the following types (see Figure):

- Audio
- Automotive
- Communication/wired
- Computers and peripherals
- Consumer
- Industrial
- Imaging and video
- Medical
- Military/aerospace
- Mobile/wireless
- Motor control
- Security
- General Purpose
- Miscellaneous



Γλώσσα C για Προγραμματισμό Ενσωματωμένων Συστημάτων

Η Γλώσσα Προγραμματισμού C είναι υψηλού επιπέδου αφαίρεσης. Επιτρέπει όμως αποδοτική περιγραφή και διαχείριση λειτουργιών χαμηλού επιπέδου, π.χ. bitwise-operators, pointer-based memory referencing κ.λπ.

Τα προγράμματα που αφορούν σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου συχνά δεν περιλαμβάνουν κάποιο λειτουργικό σύστημα όπως αυτά των υπολογιστών γενικού σκοπού για τους παρακάτω λόγους:

- Συνήθως είναι συστήματα μικρού ή μεσαίου μεγέθους, δεδομένου ότι (όπως έγινε σαφές και από τα προηγούμενα) τα ενσωματωμένα συστήματα επιτελούν μια συγκεκριμένη εργασία.
- Η παρουσία ενός κλασικού λειτουργικού συστήματος αποτελεί σοβαρή χρονική επιβάρυνση. Έτσι για να αποκρίνεται σε κρίσιμες εφαρμογές πραγματικού χρόνου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ειδικά λειτουργικά συστήματα πραγματικού χρόνου ή να υιοθετηθούν κατά περίπτωση λύσεις.
- Η απλούστερη δομή που υποκαθιστά ένα πλήρες λειτουργικό σύστημα είναι ένας ατέρμονας βρόχος που εκτελεί συνεχώς την εξειδικευμένη εργασία (λειτουργία) και οι χρονικά κρίσιμες λειτουργίες προσαρτώνται σε διακοπές.
- Η παρουσία ενός κλασικού λειτουργικού συστήματος “δυσκολεύει” την αποσφαλμάτωση της ενσωματωμένης εφαρμογής.

One Software Mistake Is All It Takes

Knight Capital Says Trading Glitch Cost It $440 Million

By NATHANIEL POPPER AUGUST 2, 2012 9:07 AM 356 Comments

Runaway Trades Spread Turmoil Across Wall St.

Errant trades from the Knight Capital Group began hitting the New York Stock Exchange almost as soon as the opening bell rang on Wednesday. Brendan McDermid/Reuters

The Knight Capital Group announced on Thursday that it lost $440 million when it sold all the stocks it accidentally bought Wednesday morning because a computer glitch.

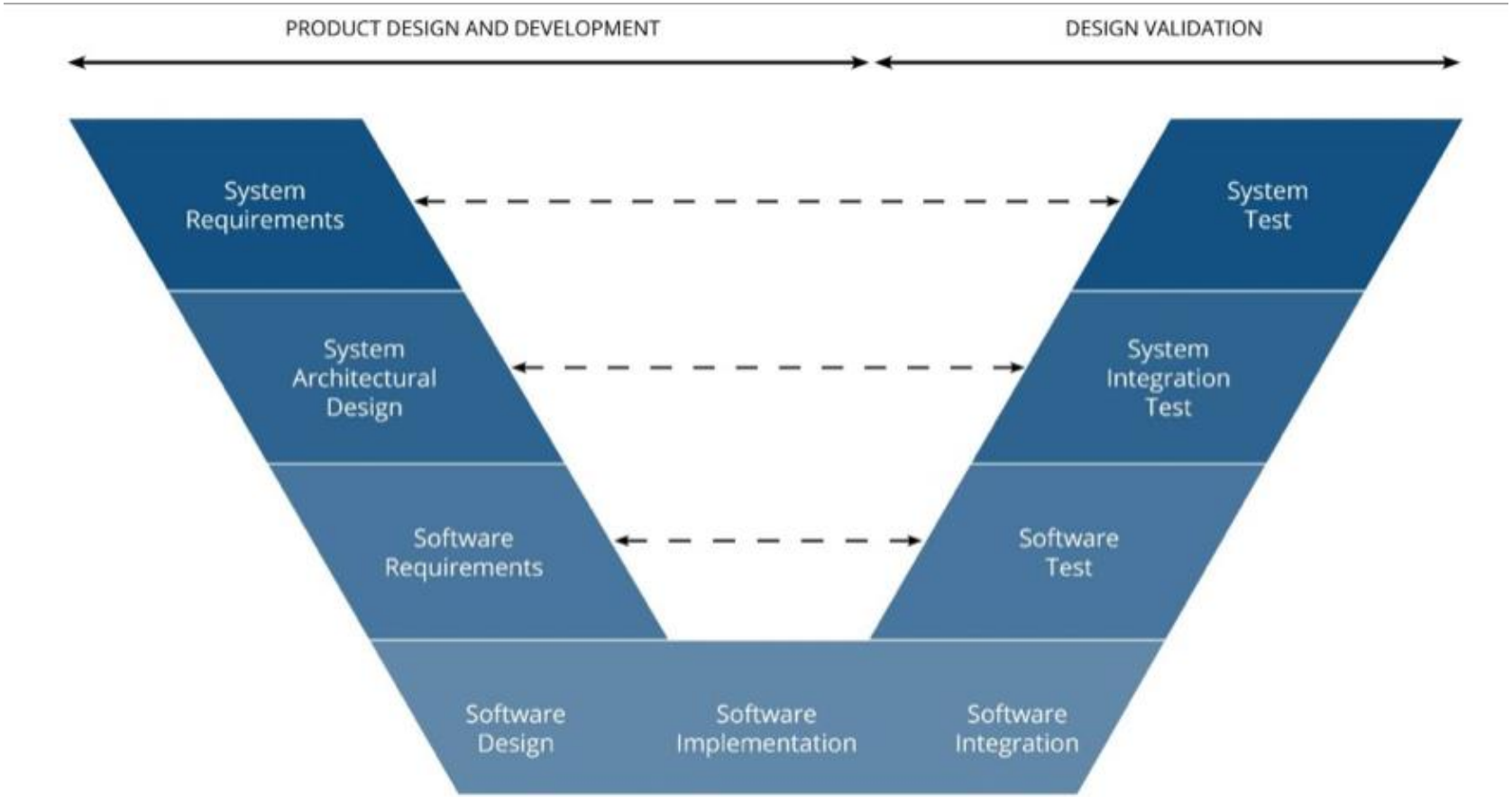
https://goo.gl/7dHOjO

st Martin Winterkorn his position as chief executive of VW Photo: AP/Richard

https://goo.gl/T96ezC

Will "Diesel-Gate" Kill VW?

Embedded System HW/SW Design Cycle



The V-model for Embedded SW development

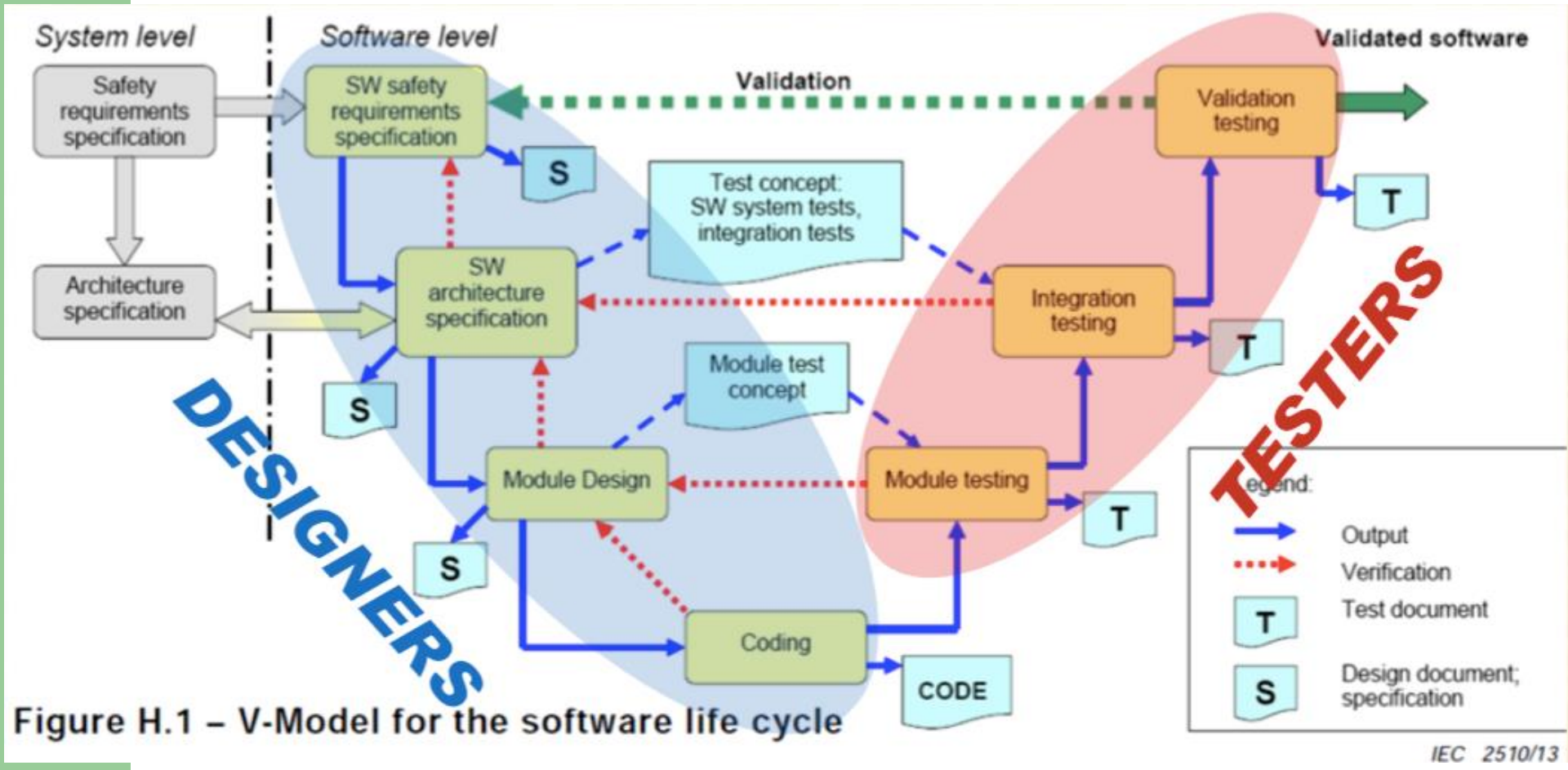


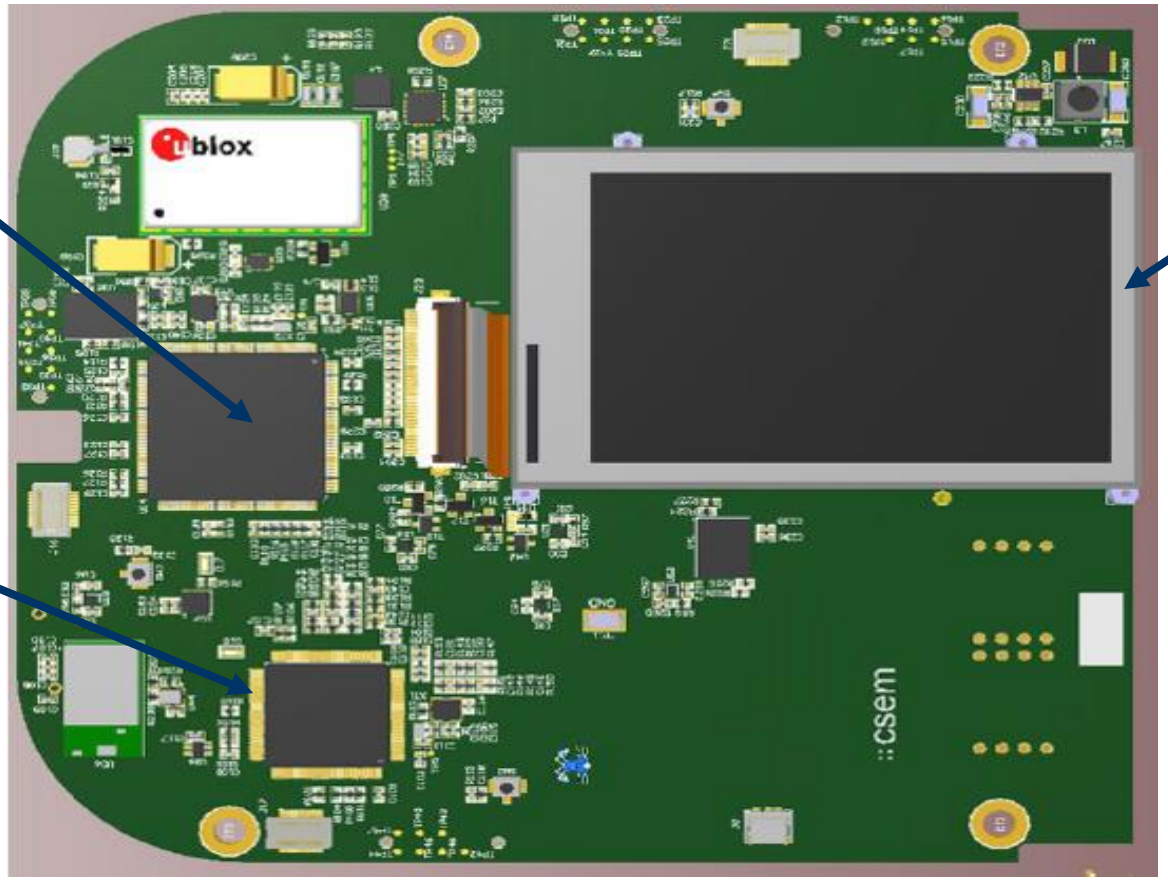
Figure H.1 – V-Model for the software life cycle

IEC 60730 Appliance Safety

Proof of concepts: Smart Negative Pressure Medical Device Programming in Microlab

Main Microcontroller (ARM-M4)

Supervisory microcontroller (ARM-M0+)



User Interface microcontroller (under ePaper Display)

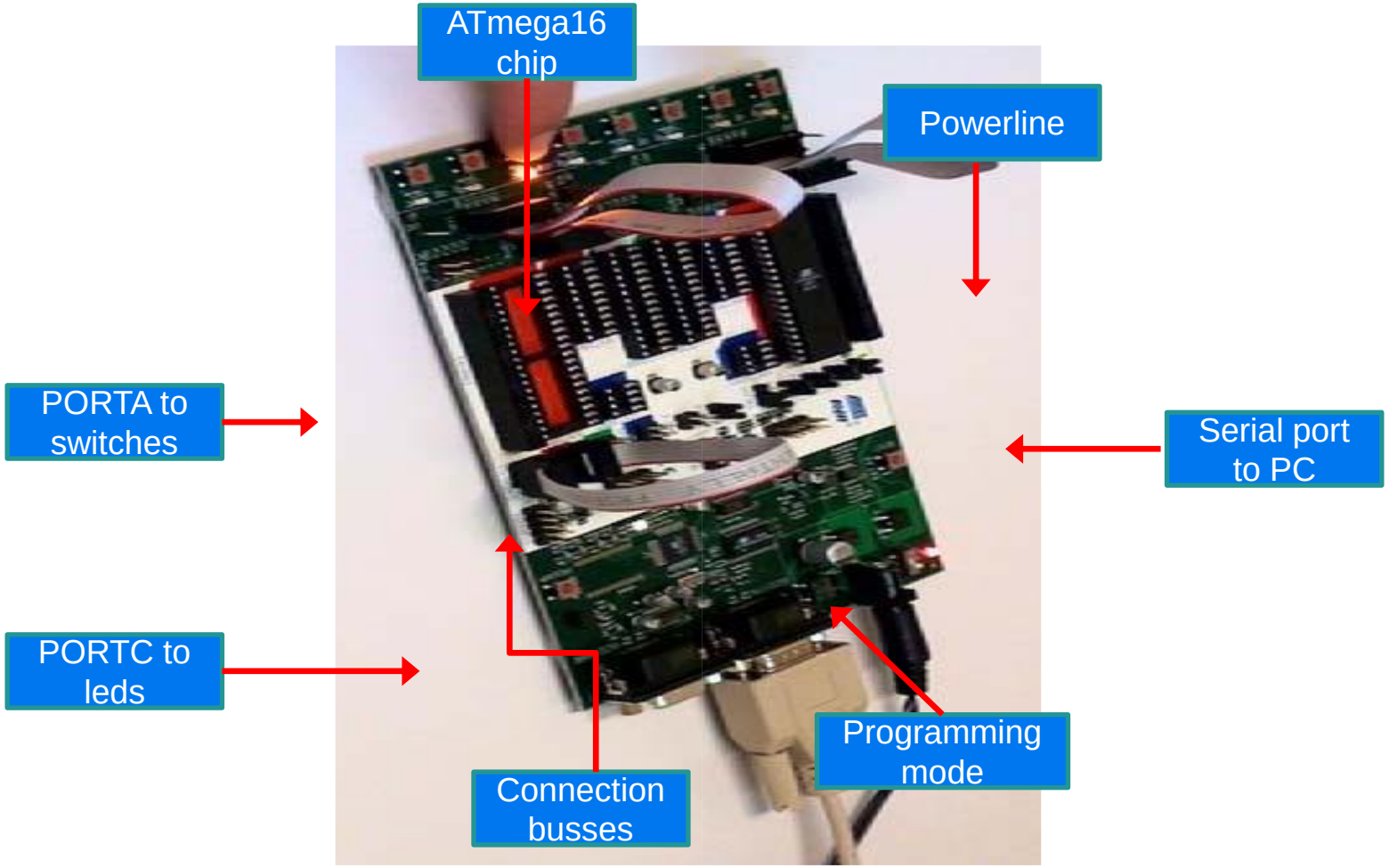
SNPD (Smart Negative Pressure Device)

- Software stack from drivers up to user application
- No RTOS (Real Time Operating System)
- C and assembly programming

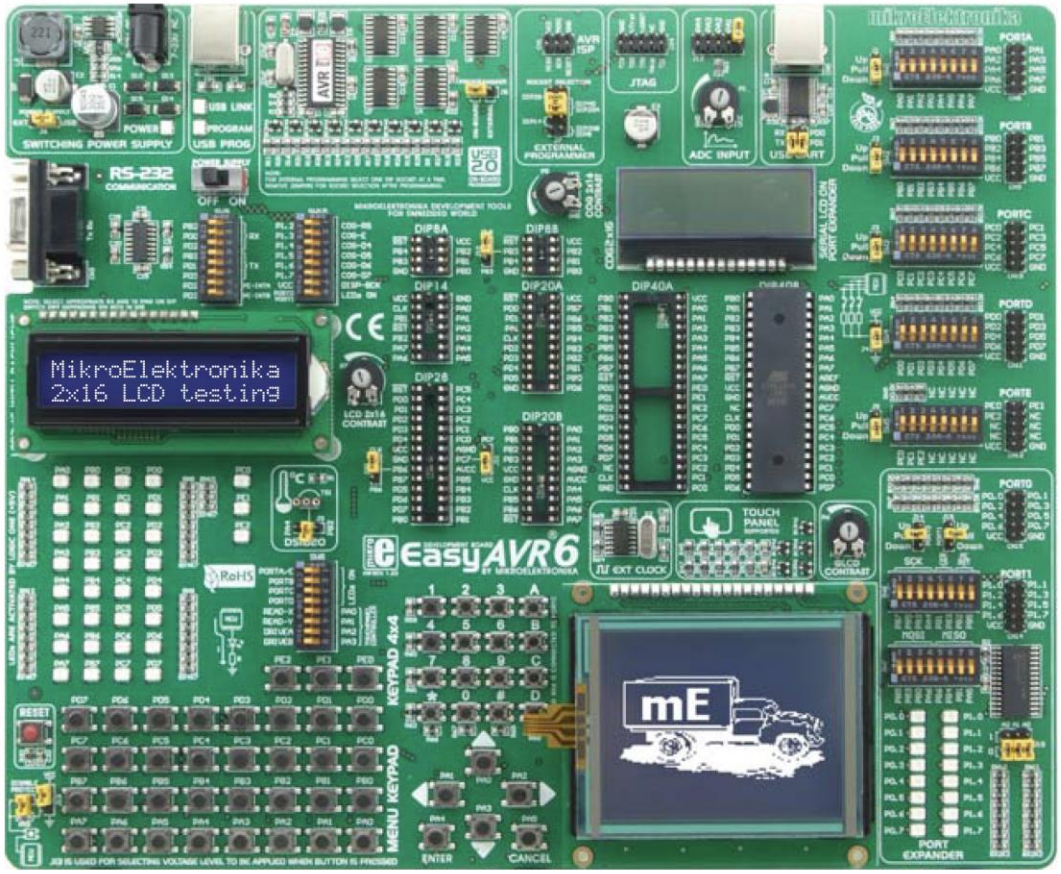
SNPD real case: Pump control

Verification in complex lab tubing system with pressure meter and on healthy volunteer

AVR development kit



EasyAVR6 Development System



Full-featured and user-friendly development board for AVR microcontrollers

High-Performance USB 2.0 On-Board Programmer

Port Expander provides easy I/O expansion (2 additional ports) using data format conversion

Alphanumeric On-Board 2x16 LCD with Serial Communication

Graphic LCD with backlight

Χρήσιμα ‘tips’ για Embedded AVR-C

Θέματα που θα μελετηθούν:

- AVR I/O
- Παραδείγματα Προγραμματισμού σε AVR-C
- Volatile variables
- AVR Memory space
- Stack and function call

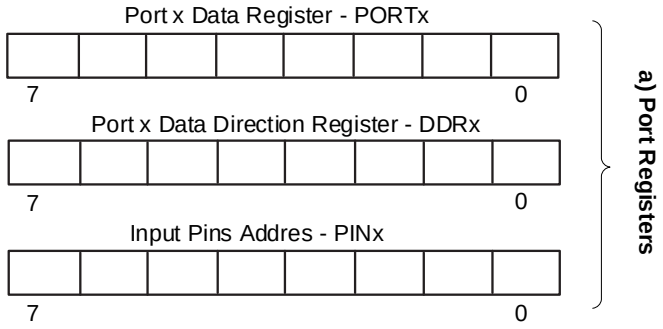
I/O από AVR θύρες

Output:

```
DDRB=0xf0;      // PORTB[7:4] as output,
                // set PORTB[3:0] as input
PORTB=0x00;     // disable PORTB pull-up resistors

DDRC=0xff;      // set PORTC as output
PORTC=0x00;     // initialize low
```

Input:

```
Unsigined char new_PORTB;   // PORTB new value
:
:
:
new_PORTB = PINB;          // read PORTB
```



DDRxn	PORTxn	I/O	Comments	Pullup
0	0	input	Tri-state (Hi-Z)	No
0	1	input	Pullup	Yes
1	0	output	Output Low	No
1	1	output	Output High	No

x: port (A, B, C, D)
n: pin (0 – 7)

b) port pin configuration

Ανάγνωση σε και εγγραφή από θύρες

```
#include <mega16.h>  // Αρχείο επικεφαλίδας για τον AVR ATmega16
// το περιεχόμενο του αρχείο επικεφαλίδας περιλαμβάνει δηλώσεις του τύπου
// sfrb PORTB = 0x16, sfrb DDRB = 0x17, sfrb DDRD = 0x17,(special function register byte)
// δηλ. όλες τις διευθύνσεις των I/O καταχωρητών των περιφερειακών
// και τα διανύσματα διακοπών όλων των περιφερειακών

void main(void)
{

DDRB=0xFF;                  // Αρχικοποίηση της θύρας B σαν έξοδο
DDRD=0x00;                  // Αρχικοποίηση της θύρας D σαν είσοδο
while (1)
     {                      // Τα bits της θύρας PIND (switches) διαβάζονται και
     PORTB=PIND + 5;        // αφού προστεθούν με το 5 γράφονται στην PORTB (leds)
                            //  Υποθέτουμε απεικόνιση με θετική λογική.
     };
}
```

SFRB & SFRW compiler directives

- The SRAM area (Attention not the registers of the processor) of the AVR microcontroller includes a region called the Register File.
- The region contains IO ports, timers, and other peripherals, as well as some "working" or ’scratchpad“ area.
- To instruct the compiler to allocate a variable to a register or registers, the storage class modifier register must be used.

sfrb and sfrw

The I/O ports and peripherals are located in the register file. Therefore, special instructions arc used to indicate to the compiler the difference between an SRAM location, an I/O port, or another peripheral in the register file.

The sfrb and sfrw keywords indicate to the compiler that the IN and OUT assembly instructions arc to be used to access the AVR microcontroller’s I/O registers:

```
/* Define the Special Function Registers (SFR)*/
sfrb PINA=0X19;   //8-bit access to the SFR input port A
```

Όλες τις διευθύνσεις των I/O καταχωρητών των περιφερειακών

Address	Name	Address	Name
$3F ($5F)	SREG	$1F ($3F)	EEARH-EEPROM Addr register high byte
$3E ($5E)	SPH	$1E ($3E)	EEARL-EEPROM Addr register low byte
$3D ($5D)	SPL	$1D ($3D)	EEDR - EEPROM Data Register
$3C ($5C)	OCR0 Timer/Counter0 -Output Compare Register	$1C ($3C)	EECR - EEPROM Control Register
$3B ($5B)	GICR Gener. Interrupt Control	$1B ($3B)	PORTA
$3A ($5A)	GIFR General Interrupt Flags	$1A ($3A)	DDRA
$39 ($59)	TIMSK Timers Interrupt Mask	$19 ($39)	PINA
$38 ($58)	TIFR Timers Interrupt Flags	$18 ($38)	PORTB
$37 ($57)	SPMCR Store Prog Con. Reg.	$17 ($37)	DDRB
$36 ($56)	TWCR - TWI Control Register	$16 ($36)	PINB
$35 ($55)	MCUCR Processor General Control Register	$15 ($35)	PORTC
$34 ($54)	MCUCSR (Pr Status Register)	$14 ($34)	DDRC
$33 ($53)	TCCR0 Timer0 Control Reg.	$13 ($33)	PINC
$32 ($52)	TCNT0Timer/Counter0	$12 ($32)	PORTD
$31 ($51)	OSCCAL Osc. Calibration Reg	$11 ($31)	DDRD
$30 ($50)	SFIOR	$10 ($30)	PIND
$2F ($4F)	TCCR1A Timer1 Control Register A	$0F ($2F)	SPDR - SPI Data Register
$2E ($4E)	TCCR1B Timer1 Control Register B	$0E ($2E)	SPSR - SPI Status Register
$2D ($4D)	TCNT1H Timer/Counter1-Counter Register High Byte	$0D ($2D)	SPCR - SPI Control Register
$2C ($4C)	TCNT1L Timer/Counter1-Counter Register Low Byte	$0C ($2C)	UDR USART I/O Data Register
$2B ($4B)	OCR1AH Timer/Counter1-Output Compare Register A	$0B ($2B)	UCSRA-USARTControl Status Register A
$2A ($4A)	OCR1AL Timer/Counter1-Output Compare Register A	$0A ($2A)	UCSRB-USARTControl Status Register B
$29 ($49)	OCR1BH Timer/Counter1-Output Compare Register B	$09 ($29)	UBRRL - USART Baud Rate Register Low Byte
$28 ($48)	OCR1BL Timer/Counter1-Output Compare Register B	$08 ($28)	ACSR - Analog Control Status Register
$27 ($47)	ICR1H Timer/Counter1 Input Capture Register High Byte1	$07 ($27)	ADMUX - ADC Multiplexer Selection Register
$26 ($46)	ICR1L Timer/Counter1 Input Capture Register Low Byte1	$06 ($26)	ADCSRA - ADC Control Status Register
$25 ($45)	TCCR2 Timer2 Control Reg.	$05 ($25)	ADCH - ADC Data Register High Byte
$24 ($44)	TCNT2 Timer/Counter2 (8 bit)	$04 ($24)	ADCL - ADC Data Register Low Byte
$23 ($43)	OCR2Timer/Counter2 Output Compare Register	$03 ($23)	TWDR Two-wire Serial - Interface Data Register
$22 ($42)	ASSR Asynchr. Status Reg.	$02 ($22)	TWAR Two-wire Address Register
$21 ($41)	WDTCR- WatchDog Con. Reg	$01 ($21)	TWSR Two-wire Status Register
$20 ($40)	UBRRH/URSEL (USART Baud Rate Register High Byte)	$00 ($20)	TWBR Two-wire bit Rate Register

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1ο: I/O και Χειρισμός bit
Τα 3 LSB της θύρας PORTD στα 3 MSB της θύρας PORTB

```
#include <mega16.h>  // Αρχείο επικεφαλίδας για τον AVR ATmega16
unsigned char z;
void main(void)
{
DDRB = 0xFF;                    // Αρχικοποίηση της θύρας B ως έξοδο
DDRD = 0x00;                    // Αρχικοποίηση της θύρας D ως είσοδο
while (1)
    {                           // Τα bits της θύρας PIND(switches) διαβάζονται
        z = PIND & 0x7;         // και απομονώνονται τα 3 τελευταία bits (masking)
        z << 5;                 // ολίσθηση 5 θέσεις αριστερά και
                                // τα 3 LSB πάνε στα 3 MSB
        z = z & 0xE0;           // Τα bits της θύρας PORTB(leds) διαβάζονται,
                                // μηδενίζονται τα 3 MSB και στη συνέχεια μπαίνουν τα
        PORTB | = z;            //  αντίστοιχα του PORTD αφού γίνουν  OR με το z,
    };                          // γράφονται ξανά πίσω στην PORTB(leds).
}                               // Υποθέτουμε απεικόνιση με θετική λογική.
```

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2ο: Blink LED on bit PortB0 at a rate of 1Hz.

```
#include <mega16.h>
#include <delay.h>

void main()
{
  DDRB = 0XFF;          //PB as output
  PORTB = 0x00;         //keep all LEDs off
  while(1)
  {
    PORTB &= 0b11111110;      //turn LED off
    delay_ms(500);    //wait for half second
    PORTB |= 0b00000001;      //turn LED on
    delay_ms(500);    //wait for half second

  };
}
```

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2ο: Διαφορά πλήθους μονάδων από το πλήθος των μηδενικών της θύρας PORTD

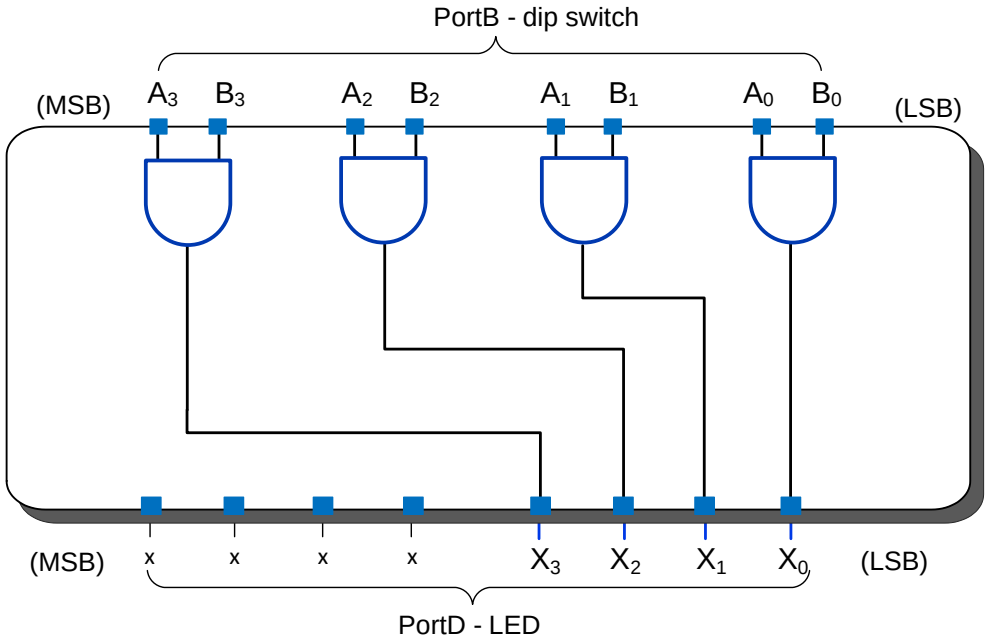
```
#include <mega16.h>     // Αρχείο επικεφαλίδας για τον AVR ATmega16
unsigned char x_p, x_m, y, z;    //
void main(void)
{
int i;
DDRB=0xFF;          // Αρχικοποίηση της θύρας B ως έξοδο
DDRD=0x00;          // Αρχικοποίηση της θύρας D ως είσοδο
while (1)           // Ατέρμων βρόγχος. Η συνθήκη είναι πάντα αληθής.
    {
        z = PIND;           // Διαβάζονται τα bits της θύρας PIND (switches)
        x = 0;              // Αρχικοποίηση του μετρητή των '1' – '0'.
        for(i = 0; i < 8; i++)   // Βρόγχος με 8 επαναλήψεις
        {                        // Απομονώνεται το LSB του z.
            y = z & 0x1;         // Η εντολή αυτή μπορεί να παραληφθεί και να πάει στην if.
            z >> 1;              // ολίσθηση του καταχωρητή z, 1 θέση δεξιά
            if (y = 1)           // Δομή ελέγχου για διακλάδωση της ροής
                x_p = x_p + 1;   // προγράμματος με βάση την τιμή του y

            else
                x_m = x_m + 1;   // Μετρητής ψηφίων 0
        }
        if (x_p > x_m)
            PORTB = (x_p – x_m) ^ 0xFF;      // Τα bits της θύρας PORTB (leds)
        else
             PORTB = (x_m – x_p) ^ 0xFF;     // γράφονται με το συμπλήρωμα ως προς 1 του z
    };                                       // Υποθέτουμε απεικόνιση με αρνητική λογική.
}
```

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3ο: Με βάση τον αριθμό (0-7) από τα 3 LSB του PORTD να ανάβει το αντίστοιχης τάξης bit του PORTB

```
#include <mega16.h>    // Αρχείο επικεφαλίδας για τον AVR ATmega16
unsigned char x, y, z;
void main(void)
{
int i;
DDRB=0xFF;          // Αρχικοποίηση της θύρας B ως έξοδο
DDRD=0x00;          // Αρχικοποίηση της θύρας D ως είσοδο
while (1)           // Ατέρμων βρόγχος. Η συνθήκη είναι πάντα αληθής.
    {
        z = PIND & 0x7;      // Διαβάζονται τα bits της θύρας PIND (switches)
        x = 1;               // Αρχικοποίηση του καταχωρητή x.
        if(z > 0)
        {
            for(i = 0; i < z; i++)    // Βρόγχος με z επαναλήψεις
            {
            x << 1;     // ολίσθηση του καταχωρητή x, 1 θέση αριστερά
            }
        }
    PORTB = x ^ 0xFF;       // Τα bits της θύρας PORTB (leds)
                            // γράφονται με το συμπλήρωμα ως προς 1 του z
    };                      // Υποθέτουμε απεικόνιση με αρνητική λογική.
}
```

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4ο: Εξομοίωση πυλών

Να εξομοιωθεί σε C η λειτουργία ενός υποθετικού I.C. που περιλαμβάνει 4 πύλες AND όπως φαίνεται στο σχήμα. Τα bits εισόδου πρέπει να αντιστοιχούν ακριβώς όπως φαίνονται στο σχήμα με τα dip switches της πόρτας εισόδου PortB, και οι έξοδοι με τα LEDs που πρέπει να είναι τα τέσσερα LSB της πόρτας εξόδου PortD ενός Μικροελεγκτή AVR. Υποθέτουμε θετική λογική.



ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 4ο: Εξομοίωση πυλών

```
#include <mega16.h>    // Αρχείο επικεφαλίδας για τον AVR ATmega16
unsigned char x, y, z;
void main(void)
{
int i;
DDRB=0x00;          // Αρχικοποίηση της θύρας B ως είσοδο
DDRD=0xFF;          // Αρχικοποίηση της θύρας D ως έξοδο
while (1)           // Ατέρμων βρόγχος. Η συνθήκη είναι πάντα αληθής.
    {
    x = PINB;               // Διαβάζονται τα 8 bits της θύρας PINB (switches)
    z = 0;                  // Αρχικοποίηση του καταχωρητή z
        for(i = 0; i < 4; i++)   // Βρόγχος με 4 επαναλήψεις
        {
        y=x & 0x3;          // Απομονώνω τα 2 LSB
            if(y = 3)
            {
            z = z | 0x10;   // Θέτει '1' αν η κάθε πύλη δίνει αυτή τη τιμή
            }
            z >> 1;         // ολίσθηση του καταχωρητή z, 1 θέση δεξιά
            x >> 2;         // ολίσθηση του καταχωρητή x, 2 θέσεις δεξιά
        }
    PORTD = z & 0xF;        // Το αποτέλεσμα στα 4 LSbits της θύρας PORTD (leds)
    };                      // Υποθέτουμε απεικόνιση με θετική λογική.
}
```

Volatile variables

Η δεσμευμένη λέξη volatile είναι ένας ANSI-C προσδιοριστής μεταβλητών για κώδικες οδήγησης περιφερειακών και διαχείρισης διακοπών. Κάθε δεδομένο που η τιμή του δύναται να ενημερώνεται με ασύγχρονο τρόπο και όχι μέσα από κώδικα του μικροεπεξεργαστή πρέπει να δηλώνεται ως volatile.

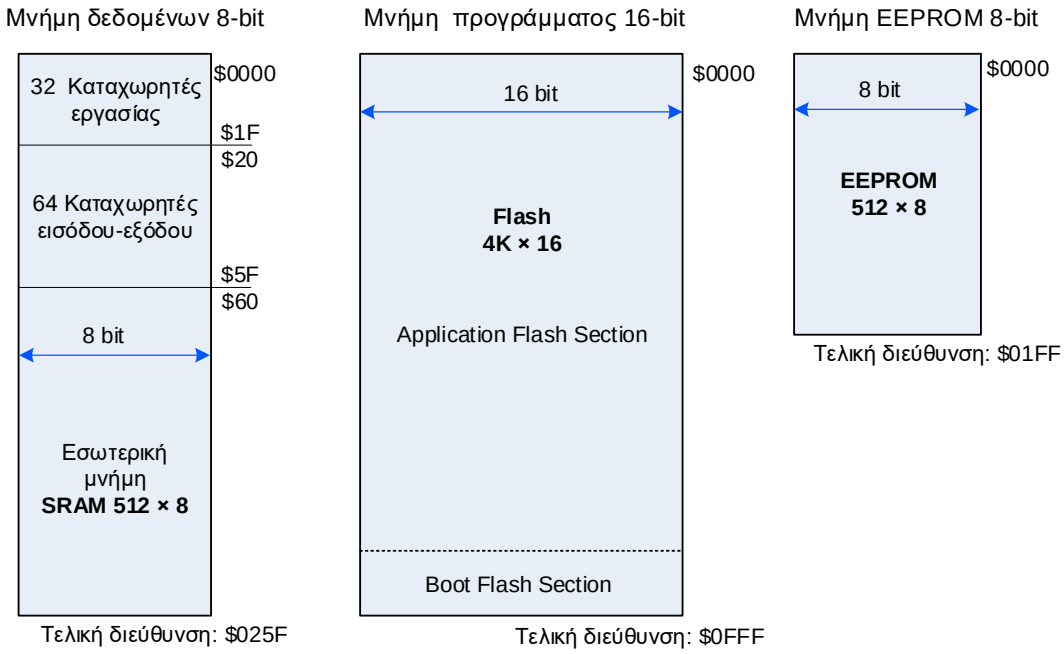
```
#define PER_PORT 0x1775    // διεύθυνση θύρα εισόδου
                           // ενός περιφερειακού με 16-bit είσοδο
…
volatile int *port = PER_PORT;  // Δείκτης χειρισμού της θύρας
int data_a, data_b;

data_a = *port ;    // 1η Ανάγνωση PER_PORT
data_b = *port ;    // 2η Ανάγνωση PER_PORT
```

Η PORT θα 'διαβαστεί' δυο φορές σε περίπτωση όπου η τιμή της έχει αλλάξει στο ενδιάμεσο.

Χωρίς τη δήλωση του δείκτη port ως volatile, ο μεταγλωττιστής θα συμπέραινε την εξής συμπεριφορά: data_a = data_ b =*port (εξοικονομώντας έτσι μια θέση μνήμης), κάτι το οποίο δεν ισχύει στην προκειμένη περίπτωση καθώς στη δεύτερη ανάγνωση της θύρας το δεδομένο μπορεί να έχει αλλάξει.

Στην περίπτωση που **data_a** και **data_b** δεν δηλωθούν volatile τότε η PORT θα 'διαβαστεί' μόνο μια φορά θεωρώντας οτι: **data_a = data_b**

AVR memory space



AVR Memory Segments

- Data Memory Segment (.DSEG)
- Program Memory Segment (.CSEG)
- EEPROM Memory (.ESEG)

Data/Variable Allocation Directives:

- **Variables in .DSEG**
- **Constants in .CSEG or .ESEG** (προκειμένου η τιμή να παραμένει και μετά το power off)

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΤΑ AVR ASSEMBLER DIRECTIVES

DIRECTIVES για μετάφραση και υλοποίηση τύπων δεδομένων σε AVR ASSEMBLY

ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ:
[http://www.atmel.com/webdoc/avrassembler/avrassembler.wb_directives.html]

Directive	Description
BYTE	Reserve byte to a variable
CSEG	Code Segment
DB	Define constant byte(s)
DEF	Define a symbolic name on a register
DEVICE	Define ...nich device to assemble for
DSEG	Data Segment
DW	Define constant word(s)
ENDMACRO	End macro
EQU	Set a symbol equal to an expression
ESEG	EEPROM Segment
EXIT	Exit from file
INCLUDE	Read source from another file
LIST	Turn listfile generation on
LISTMAC	Turn macro expansion on
MACRO	Begin macro
NOLIST	Turn listfile generation off
ORG	Set program origin
SET	Set a symbol to an expression

C to AVR Assembly: allocation and placements of constants and variables

C Source Code

```
int a;
const char b[ ]="COMP9032";
const int c=9032;
```

AVR Assembly

```
.dseg
.org 0x100
a: .byte 4

.cseg
b: .DB 'C', 'O', 'M', 'P', '9', '0', '3', '2', 0
c: .DW 9032
```

- **Μεταβλητές → .dseg**
- **σταθερές → .cseg (ΓΙΑΤΙ ?)**

More on data/variable allocations

The default or automatic allocation of variables. where no memory descriptor keyword is used, is in SRAM. Constants can be placed in FLASH memory (program space) with the flash or const keywords. For variables to be placed in EEPROM, the eeprom keyword is used.

Example of SRAM data allocation in C

```
char mystring[30] = *This string is placed in SRAM*;
```

Example of FLASH data allocation in C

```
flash char string_constant1[] = *This is a string constant*;
const char string_constant2[] = *This is also a string constant*;
```

Example of EEPROM data allocation in C

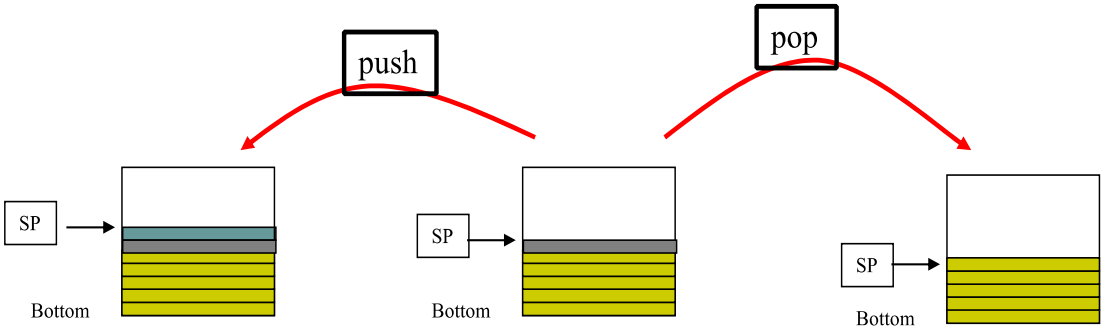
```
eeprom int cycle_count; // allocates an integer space in EEPROM
eeprom char ee_string[20]; // allocates a 20-byte area in EEPROM
eeprom struct {
        char a;
        int b;
        char c[15];
} se;           // allocates 18-byte structure *se* in EEPROM
```

GCC Assembler vs Atmel AVR Assembler

GCC ASSEMBLER	ATMEL AVR ASSEMBLER
#INCLUDE	.INCLUDE
ENABLE DATA INITIALIZATION IN .DATA SEGMENT	DATA INITIALIZATION NOT ALLOWED IN .DSEG
HI8()	HIGH()
LO8()	LOW()
.ASCIZ	.DB
.SECTION .DATA	.DSEG
.SECTION .TEXT	.CSEG
<AVR/IO.H>	“M16DEF.INC”

Avr Stack

- Στους επεξεργαστές AVR, η στοίβα (stack) υλοποιείται από ένα σύνολο συνεχομένων BYTES στην μνήμη SRAM.
- Stack pointer (SP): I/O register SPH:SPL
- Η στοίβα χρησιμοποιείται στην υλοποίηση κλήσεων συναρτήσεων.



POP instruction

- Syntax: *pop Rd*
- Operands: Rd∈{r0, r1, …, r31}
- Operation: SP ← SP +1
  Rd ← (SP)
- Words: 1
- Cycles: 2

PUSH instruction

- Syntax: *push Rr*
- Operands: Rr∈{r0, r1, …, r31}
- Operation: (SP) ← Rr
  SP ← SP –1
- Words: 1
- Cycles: 2

Conventions on register usage

- **Call-used registers (r18-r27, r30-r31):** May be allocated by gcc for local data. You *may* use them freely in assembler subroutines. Calling C subroutines can clobber any of them - **the caller is responsible for saving and restoring**.

- **Call-saved registers (r2-r17, r28-r29):** May be allocated by gcc for local data. Calling C subroutines leaves them unchanged. **Assembler subroutines are responsible for saving and restoring these registers, if changed**.
  - r29:r28 (Y pointer) is used as a frame pointer (points to local data on stack) if necessary. The requirement for the callee to save/preserve the contents of these registers even applies in situations where the compiler assigns them for argument passing.

- **Fixed registers (r0, r1):**
  Never allocated by gcc for local data, but often used for fixed purposes:

Function call conventions

- **Arguments**: allocated left to right, **r25 to r8**.
  - **All arguments are aligned to start in even-numbered registers** (odd-sized arguments, including char, have one free register above them). This allows making better use of the movw instruction on the enhanced core.
  - If too many, those that don't fit are passed on the stack.

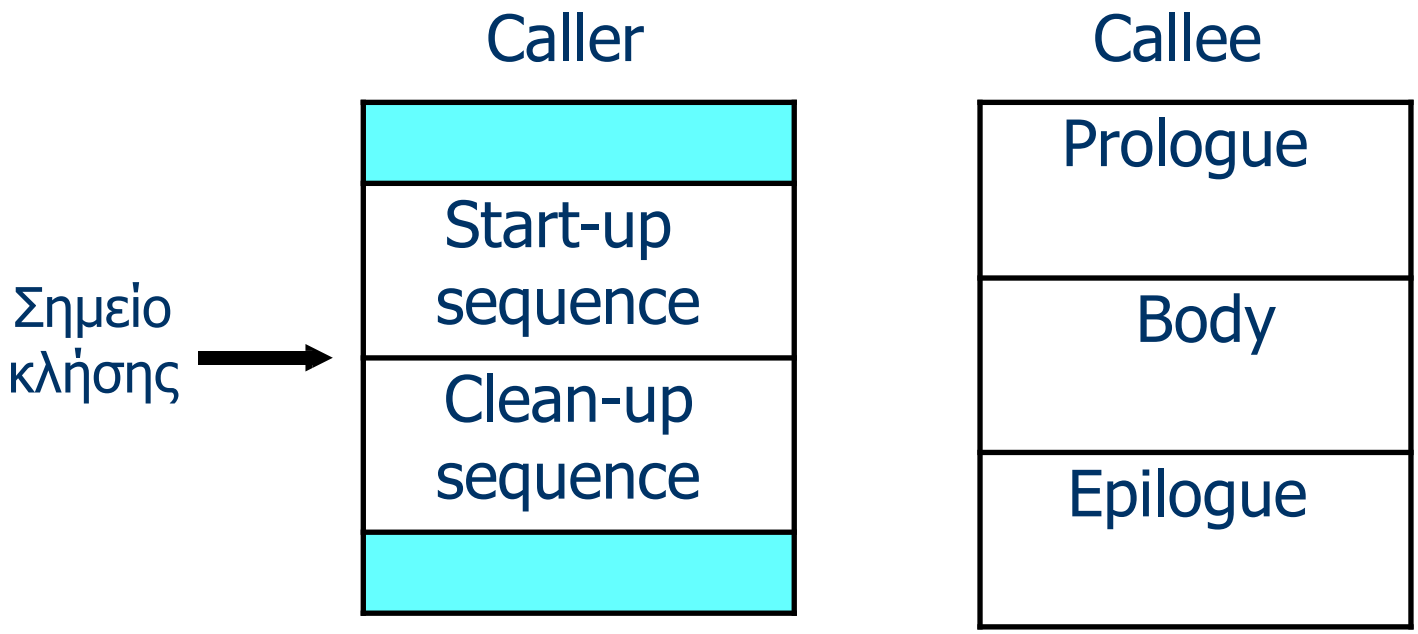
- **Return values:**
  - 8-bit in r24 (not r25!),
  - 16-bit in r25:r24,
  - up to 32 bits in r22-r25,
  - up to 64 bits in r18-r25.
  - 8-bit return values are zero/sign-extended to 16 bits by the called function
  - Arguments to functions with variable argument lists (printf etc.) are all passed on stack, and char is extended to int.

Deprecated calling conventions

- Οι registers **r31:r30:r27:r26** → Επιστροφή αποτελέσματος συνάρτησης ανάλογα με τον τύπο δεδομένων (char, short, int).
- Register **y=r29:r28** → stack frame pointer (δείκτης στο τοπικό stack frame κάθε συνάρτησης).
- Οι conflict registers του CALLER αποθηκεύονται στη στοίβα.
  - Register conflicts → τουλάχιστον ένας από τους καταχωρητές του AVR χρησιμοποιείται και στη συνάρτηση CALLER και στη συνάρτηση CALLEE.

ΠΡΟΣΟΧΗ
Το βιβλίο σας θεωρεί αυτά τα caliing conventions

Κλήση Διαδικασίας



A Template for Caller

- Caller:
  - Before calling the callee, store actual parameters in designated registers.
  - Call the callee.
    - Using instructions for subroutine call rcall, icall, call.

A Template for Callee (1/2)

- Prologue:
  - Store conflict registers, including the stack frame register Y, on the stack by using *push* instruction
  - Reserve space for local variables and passing parameters
  - Update the stack pointer and stack frame pointer Y to point to the top of its stack frame
  - Pass the actual parameters to the formal parameters on the stack
- Function body:
  - Do the normal task of the function on the stack frame and general purpose registers.

A Template for Callee (2/2)

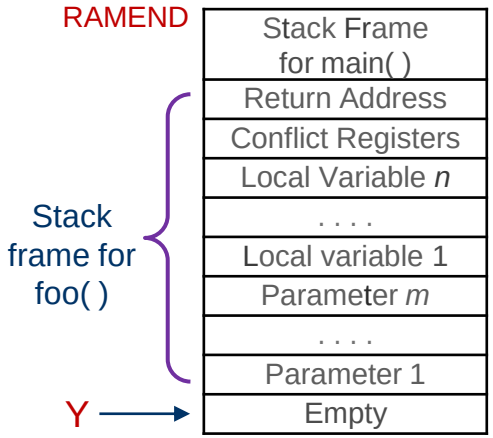
- Epilogue:
  - Store the return value in designated registers r25:r24.
  - De-allocate the stack frame
  - De-allocate the space for local variables and parameters by updating the stack pointer SP.
    SP=SP + the size of all parameters and local variables.
    Using *OUT* instruction
  - Restore conflict registers from the stack by using *pop* instruction
    - The conflict registers must be popped in the reverse order that they are pushed on the stack. The stack frame register of the caller is also restored.
  - Return to the caller by using *ret* instruction

Stack frame

Stack frame:

- Return address
- Conflict registers
- Local variables
- Parameters (arguments)

```
int main(void)
{ …
     foo(arg1, arg2, …, arg m);
}

void foo(arg1, arg2, …, arg m)
{
     int var1, var2, …, var n;
…
}
```



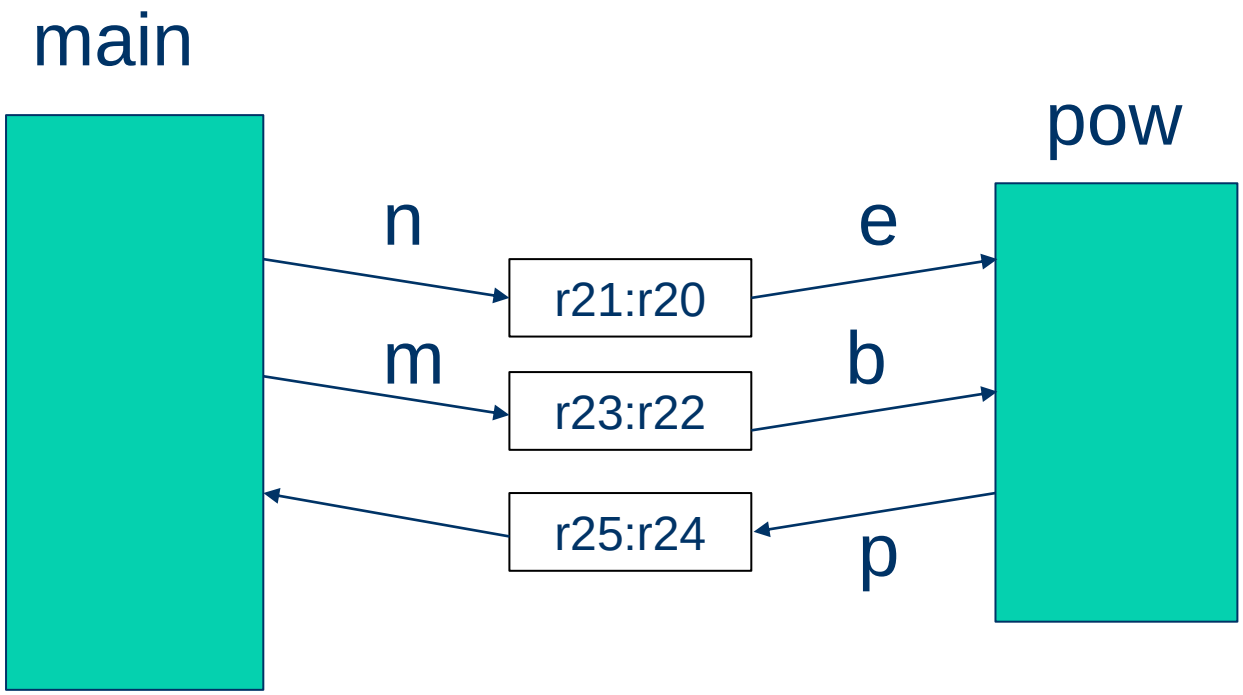
Παράδειγμα κλήσης συνάρτησης στη γλώσσα C

```
// int parameters b & e,
// returns an integer

unsigned int pow(unsigned int b, unsigned int e)
{
        unsigned int i, p;          // local variables
        p = 1;
        for (i = 0;  i  < e; i++)   // p = b^e
                p = p * b;
        return p;                   // return value of the function
}

int main(void)
{
        unsigned int m, n;
        m = 2;
        n = 3;
        m = pow(m, n);
        return Ø;
}
```

Παράδειγμα κλήσης συνάρτησης στη γλώσσα C

```
// int parameters b & e,
// returns an integer
                                        Parameter Type → Passing By Value
unsigned int pow(unsigned int b, unsigned int e)
{
        unsigned int i, p;          // local variables
        p = 1;
        for (i = 0;  i  < e; i++)   // p = b^e
                p = p * b;
        return p;                   // return value of the function
}                       Return Value
    CALLER
int main(void)
{
        unsigned int m, n;
        m = 2;
        n = 3;     CALLEE
        m = pow(m, n);
        return Ø;
}
```

Parameter passing



Translating C to AVR assembly

```
.include “m64def.inc"
.def zero = r15              ; to store constant value 0
      ; Macro mul2: multiplication of two 2-byte unsigned numbers with
      ; the results of 2-bytes.
      ; All parameters are registers, @5:@4 should be in the form: rd+1:rd,
      ; where d is the even number, and they are not r1 and r0
      ; Operation: (@5:@4) = (@1:@0)*(@3:@2)

.macro mul2                  ; a * b
      mul @0, @2             ; al * bl
      movw @5:@4, r1:r0
      mul @1,@2              ; ah * bl
      add @5, r0
      mul @0, @3             ; bh * al
      add @5, r0
.endmacro
```

;continued

Translating C to AVR assembly – cont.

```
; continued
main:
        ldi r28, low(RAMEND-4)      ; 4 bytes to store local variables,
        ldi r29, high(RAMEND-4)     ; assume an integer is 2 bytes;
        out SPH, r29                ; Adjust stack pointer to point to
        out SPL, r28                ; the new stack top.
                ; function body of the main
        ldi r24, low(2)             ; m = 2;
        ldi r25, high(2)
        std Y+1, r24
        std Y+2, r25

        ldi r24, low(3)             ; n=3;
        ldi r25, high(3)
        std Y+3, r24
        std Y+4, r25
                                                    ;continued
```

Translating C to AVR assembly – cont.

```
; continued
                                ; prepare parameters for function call
        ldd r20, Y+3            ; r21:r20 keep the actual parameter n
        ldd r21, Y+4
        ldd r22, Y+1            ; r23:r22 keep the actual parameter m
        ldd r23, Y+2
        rcall pow               ; call subroutine pow

        std Y+1, r24            ; get the return result
        std Y+2, r25
end:
        Rjmp end
        ; end of function main()
                                                        ;continued
```

Translating C to AVR assembly – cont.

```
; continued
pow:
                    ; prologue:
                            ; r29:r28 will be used as the frame pointer
        push r28            ; save r29:r28 in the stack
        push r29
        push r16            ;save registers used in the function body
        push r17
        push r18
        push r19
        push zero
        in r28, SPL         ; initialize the stack frame pointer value
        in r29, SPH
        sbiw r29:r28, 8         ; reserve space for local variables
                                ; and parameters.
                                                        ; continued
```

Translating C to AVR assembly – cont.

```
; Continued
        out SPH, r29
        out SPL, r28    ; update the stack pointer to the new stack top

                        ; pass the actual parameters
        std Y+1, r22    ; pass m to b
        std Y+2, r23
        std Y+3, r20    ; pass n to e
        std Y+4, r21
    ; end of prologue
                                                    ; Continued
```

Translating C to AVR assembly – cont.

```
; continued
            ; function body
                        ; use r23:r22 for i and r21:r20 for p,
                        ; r25:r24 temporarily for e. and r17:r16 for b
      clr zero
      clr r23           ; initialize i to 0
      clr r22;
      clr r21;          ; initialize p to 1
      ldi r20,1
      ...               ;store the local values to the stack
                        ;if necessary

      ldd r25, Y+4      ;load e to registers
      ldd r24, Y+3
      ldd r17, Y+2      ;load b to registers
       ldd r16, Y+1

                                          ; continued
```

Translating C to AVR assembly – cont.

```
; continued
loop:   cp r22, r24                     ; compare i with e
        cpc r23, r25
        brsh done                           ; if i>=e
        mul2 r20,r21, r16, r17, r18, r19    ; p *= b
        movw r21:r20, r19:r18
        ;std Y+8, r21                      ; store p
        ;std Y+7, r20
        inc r22                            ; i++, (can we use adiw?)
        adc r23, zero
        ;std Y+6, r23                      ; store i
        ;std Y+5, r22
        rjmp loop
done:
        ; …                                ; save the local to the stack
        movw r25:r24, r21l: r20            ; save the result
        ; end of function body
                                                    ; continued
```

Translating C to AVR assembly – cont.

```
; continued
                    ; Epilogue
        ;ldd r25, Y+8       ;the return value of p is stored in r25,r24
        ;ldd r24, Y+7
        adiw r29:r28, 8     ;de-allocate the reserved space
        out SPH, r29
        out SPL, r28
        pop zero
        pop r19
        pop r18             ;restore registers
        pop r17
        pop r16
        pop r29
        pop r28
        ret                 ;return to main()
        ; end of epilogue
                                                    ; End
```

Πρόγραμμα διαχείρισης διακοπών σε C

Στη συνέχεια δίνεται ένα παράδειγμα προγράμματος διαχείρισης διακοπών σε C που επιτρέπει εξωτερικές διακοπές στην είσοδο INT0 του Μικροελεγκτή AVR. Αρχικά τα led της θύρας PORTB είναι ON και στη συνέχεια κάθε φορά που προκαλείται διακοπή αλλάζει η κατάστασή τους.

```
  #include <mega16.h>
unsigned char chLed;
                              // External Interrupt 0 service routine. Η EXT_INT0 αντιστοιχεί στη θέση 02-03
interrupt [EXT_INT0] void ext_int0_isr(void)
{
  chLed = chLed ^ 0xFF;
  PORTB=chLed;
}

void main(void)
{
  PORTB=0x00;           // Η PORTB τίθεται ως έξοδος
  DDRB=0xFF;
  GIMSK=0x40;           // Ενεργοποίηση εξωτερικής διακοπής 0,  INT0: On
  MCUCR=0x02;           // INT0 Mode: στην ακμή πτώσης
  #asm("sei")           // ενεργοποίηση συνολικά των διακοπών
  chLed=0x00;
  PORTB=chLed;
  while (1)
      {                 // Μπορούμε τοποθετώντας πρόσθετο κώδικα στο σημείο αυτό,
                        // το κύριο πρόγραμμα να κάνει επιπλέον λειτουργίες εκτός του ON – OFF των led.
      };
}
```

Αναφορές

- Κ. Πεκμεστζή, “Συστήματα Μικροϋπολογιστών – Μικροελεγκτής AVR και PIC”
- William Barnekow, “Mixing C and assembly language programs”, Lecture Notes, Cornel University
- “Embedded C Programming and the Atmel AVR”, R. Barnett, Thomson and Delmar Learning.
- Sri Parameswaran, Annie Guo, Hui Wu, “Assembly Programming (iii)”, Lecture Notes on Microprocessors and Interfacing, University of New South Wales
- http://www.atmel.com/webdoc/avrassembler/