# Programmering av inbyggda system 2012/2013

## Sammanfattning

Kursens syften är

- att vara en introduktion till konstruktion av små inbyggda system och
- att ge en förståelse för hur imperativa styrstrukturer översätts till assembler
- att ge en förståelse för de svårigheter som uppstår vid programmering av händelsestyrda system med flera indatakällor.

Vi repeterar kursens ”lärandemål”





# 1. Programutveckling i C och assemblerspråk

Kunna utföra programmering i C och assemblerspråk samt kunna:

- beskriva och tillämpa modularisering med hjälp av funktioner och subrutiner.
- beskriva och tillämpa parameteröverföring till och från funktioner.
- beskriva och tillämpa olika metoder för parameteröverföring till och från subrutiner.
- beskriva och använda olika kontrollstrukturer.
- beskriva och använda sammansatta datatyper (fält och poster) och enkla datatyper (naturliga tal, heltal och flyttal).

- *beskriva och tillämpa modularisering med hjälp av funktioner och subrutiner.*

**EXEMPEL**

```
callfunc( int aa , int ab )
{
   aa = 1;
   ab = 2;
}
```

*XCC12* genererar följande kod:

```
    SEGMENT   text
    EXPORT    _callfunc [r,2]
_callfunc:
;       2 | {
;       3 |    aa = 1;
    LDD    #1
    STD    2,SP
;       4 |    ab = 2;
    LDD    #2
    STD    4,SP
;       5 | }
    RTS
```

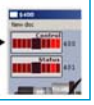
*Funktioners parametrar och returvärden.*

## Subrutiner för att manipulera styrregistret OUTONE och OUTZERO

```
* Subrutin OUTONE. Läser kopian av
* borrmaskinens styrord på adress
* DCCopy. Ettställer en av bitarna och
* skriver det nya styrordet till
* utporten DCTRL samt tillbaka till
* kopian DCCopy.
* Biten som nollställs ges av innehållet
* i B-registret (0-7) vid anrop.
* Om (B) > 7 utförs ingenting.
* Anrop:                LDAB    #bitnummer
*                       JSR     OUTONE
* Utdata:               Inga
* Registerpåverkan:     Ingen
* Anropade subrutiner:  Inga
```

"bitnummer" = 0..7

| 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|



Kompilera följande deklarationer till assembler och studera assemblerfilen. Vilken skillnad upptäcker du?

```
int       a;
static    int    b;
```

*Lagrings-klass och synlighet.*

```
;       1 | int          a;
    SEGMENT   bss
_a:     RMB    $2
    EXPORT    _a      [r,2]

;       2 | static       int    b;
_1:     RMB    $2
```

(symbolen _1 existerar endast under assemblering och motsvarar då symbolen 'b' i programmet. Symbolen 'b' exporteras inte.

```
**************************************
* SUBRUTIN - DELAY
* Beskrivning: Skapar en fördröjning om
* ANTAL x 500 ms.
* Anrop: LDAA  #6  Fördröj 6*500ms= 3s
*      JSR   DELAY
* Indata:Antal intervall,om 500 ms i A
*
* Utdata: Inga
* Register-påverkan: Ingen
* Anropad subrutin: Ingen.
**************************************
```





- *beskriva och tillämpa olika metoder för parameteröverföring till och från subrutiner.*

## Parameteröverföring via register

Antag att vi alltid använder register `D,X,Y` (i denna ordning) för parametrar som skickas till en subrutin. Då kan funktionsanropet (subrutinanropet)

```
dummyfunc(la,lb,lc);
```

översättas till:

```
LDD    la
LDX    lb
LDY    lc
BSR    dummyfunc
```

Då vi kodar subrutinen `dummyfunc` vet vi (på grund av våra regler) att den första parametern skickas i D, den andra i X och den tredje i Y (osv).

Metoden är enkel och ger bra prestanda.
Begränsat antal parametrar kan överföras.

## Parameteröverföring via stacken

Antag att listan av parametrar som skickas till en subrutin behandlas från höger till vänster. Då kan

```
dummyfunc(la,lb,lc);
```

Översättas till:

```
    LDD    lc
    PSHD
;(alternativt STD    2,-SP)
    LDD    lb
    PSHD
    LDD    la
    PSHD
    BSR    dummyfunc
    LEAS   6,SP
```

| Innehåll | Kommentar | Adressering via SP i subrutinen |
|---|---|---|
| lc.lsb | Parameter lc | |
| lc.msb | | 6,SP |
| lb.lsb | Parameter lb | |
| lb.msb | | 4,SP |
| la.lsb | Parameter la | |
| la.msb | | 2,SP |
| PC.lsb | Återhoppsadress, | |
| PC.msb | placeras här vid BSR | 0,SP |

```
dummyfunc:
        . .
        LDD     2,SP
; parameter la till register D
        . .
        LDD     4,SP
; parameter lb till register D
        . .
        LDD     6,SP
;parameter lc till register D
```

## Parameteröverföring "In Line"

"In line" parameteröverföring, värdet 10 ska överföras till en subrutin:

```
    BSR    dummyfunc
    FCB    10
    ...
```

```
dummyfunc:
        LDAB   [0,SP]        ; parameter->B
        LDX    0,SP          ; återhoppsadress->X
        INX                  ; modifiera ..
        STX    0,SP          ; .. tillbaks till stack
        . . .
        . . .
        . . .
        RTS
```

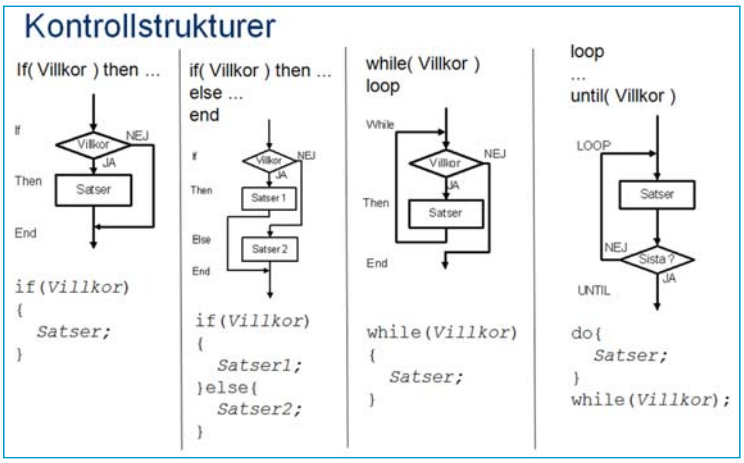
## Returvärden via register

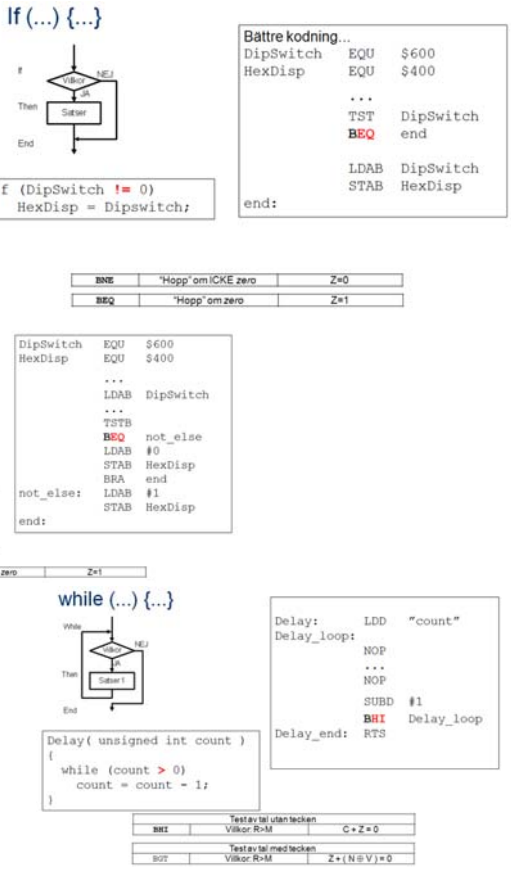
Register väljs, beroende på returvärdets typ (storlek), HCS12-exempel

| Storlek | Benämning | C-typ | Register |
|---|---|---|---|
| 8 bitar | byte | char | B |
| 16 bitar | word | short int | D |
| 32 bitar | long | long int | Y/D |

En regel (konvention) bestäms och följs därefter vid kodning av samtliga subrutiner

- *beskriva och använda olika kontrollstrukturer.*








- *beskriva och använda sammansatta datatyper (fält och poster) och enkla datatyper (naturliga tal, heltal och flyttal).*

```
/*
   globals.c
   Deklaration av globala variabler
*/

short     shortint;
long      longint;
int    justint;
int    intvec[10];

struct {
   int    s1;
   char      s2;
   char*     s3;
} komplex;
```

```
;     1 | short     shortint;
   SEGMENT   bss
_shortint:   RMB    $2
   EXPORT    _shortint [r,2]

;     2 | long      longint;
_longint:    RMB    $4
   EXPORT    _longint  [r,4]

;     3 | int       justint;
_justint:    RMB    $2
   EXPORT    _justint  [r,2]

;     4 | int       intvec[10];
_intvec:     RMB    $14
   EXPORT    _intvec   [r,20]

;     5 |
;     6 | struct {
;     7 |    int    s1;
;     8 |    char      s2;
;     9 |    char*     s3;
;    10 | } komplex;
_komplex:    RMB    $5
   EXPORT    _komplex  [r,5]
```

```
main() {
   short  shortint;
   long      longint;
   int    justint;

   struct {
      int    s1;
      char      s2;
      char      *s3;
   } typen;
   justint = 0;
}
```

```
   SEGMENT   text
   EXPORT    _main  [r,2]
_main:
   LEAS   -13,SP
;     2 |    short  shortint;
;     3 |    long      longint;
;     4 |    int    justint;
;     5 |
;     6 |    struct {
;     7 |       int    s1;
;     8 |       char      s2;
;     9 |       char      *s3;
;    10 |    } typen;
;    11 | justint = 0;
   CLRA
   CLRB
   STD    5,SP
;    12 | }
   LEAS   13,SP
   RTS
```

Kunna redogöra för olika lagringsklasser (GLOBAL, STATIC, LOCAL) och ”synlighet”.

# 2. Programutvecklingteknik

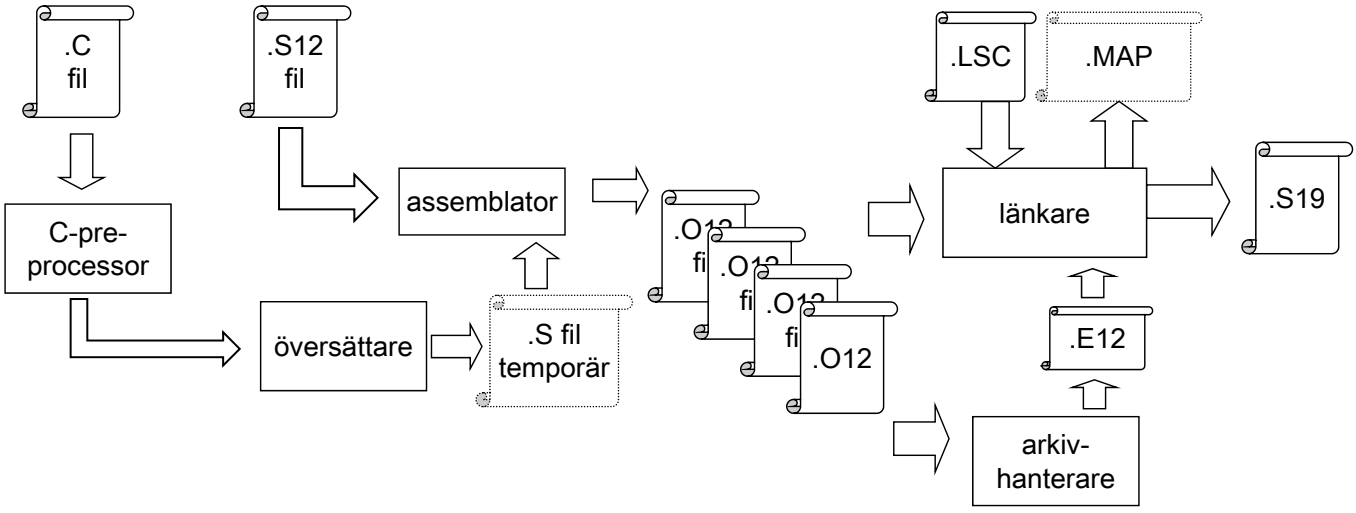
Att kunna:

- beskriva översättningsprocessen, dvs. assemblatorns arbetssätt, preprocessorns användning, separatkompilering och länkning.
- konstruera, redigera och översätta (kompilera och assemblera) program
- testa, felsöka och rätta programkod med hjälp av avsedda verktyg.





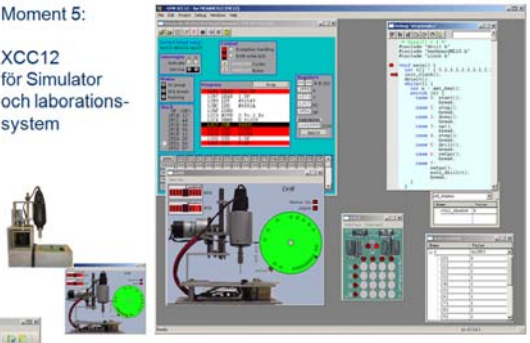
- *beskriva översättningsprocessen, dvs. assemblatorns arbetssätt, preprocessorns användning, separatkompilering och länkning.*



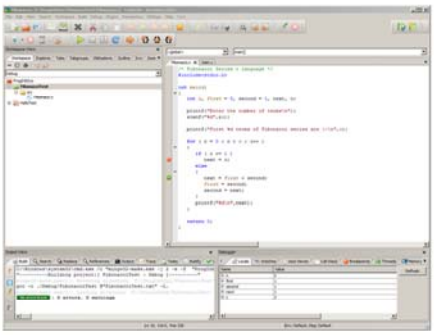
- *konstruera, redigera och översätta (kompilera och assemblera) program*
- *testa, felsöka och rätta programkod med hjälp av avsedda verktyg.*

Moment 5:

XCC12 för Simulator och laborations-system

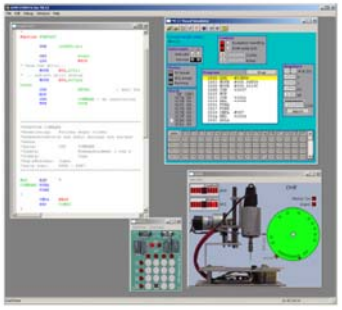


CodeLite för moment 3 "Morsealfabetet" och moment 4 "Prioritetskö".



Moment 1 och 2:

ETERM för Simulator och laborationssystem



Dessa lärandemål har vi kontrollerat under laborationer.



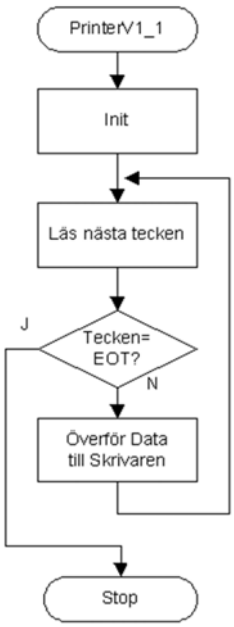


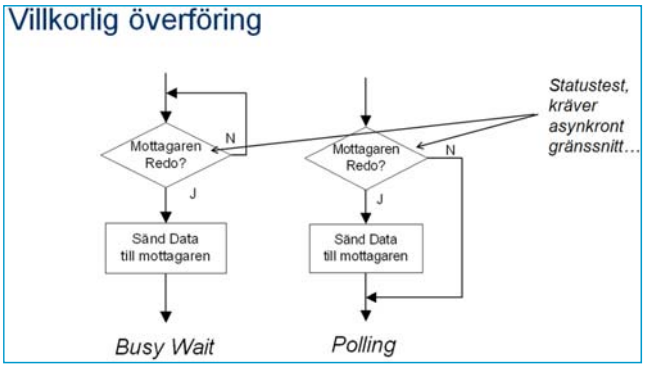
# 3. Systemprogrammerarens bild

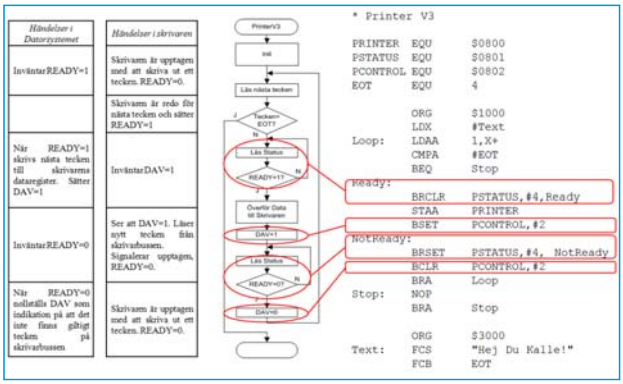
Att kunna:

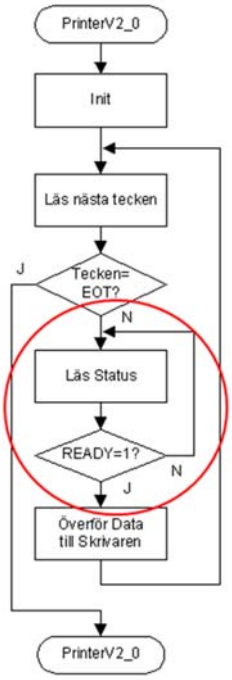
- beskriva och tillämpa olika principer för överföring mellan centralenhet och kringenheter så som: ovillkorlig eller villkorlig överföring, statustest och rundfrågning.
- konstruera program för systemstart och med stöd för avbrottshantering från olika typer av kringenheter.
- beskriva och exemplifiera olika undantagstyper: interna undantag, avbrott och återstart samt prioritetshantering vid undantag.
- kunna beskriva metoder och mekanismer som är centrala i systemprogramvara så som pseudoparallell exekvering och hantering av processer.
- beskriva och använda kretsar för tidmätning.
- beskriva och använda kretsar för parallell respektive seriell överföring.

- *beskriva och tillämpa olika principer för överföring mellan centralenhet och kringenheter så som: ovillkorlig eller villkorlig överföring, statustest och rundfrågning.*








- *konstruera program för systemstart och med stöd för avbrottshantering från olika typer av kringenheter.*

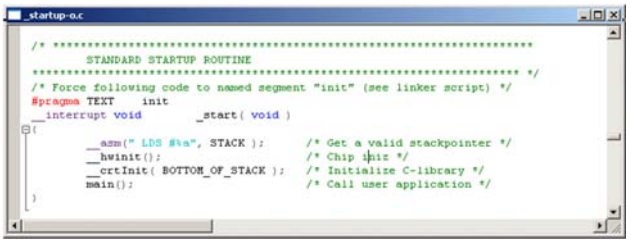
**Exempel 4.43 Placering av Exceptionvektorer, assemblerkod**

Följande programskelett illustrerar hur några avbrottsrutiner respektive avbrottsvektorer kan definieras i en fristående HCS12-applikation.

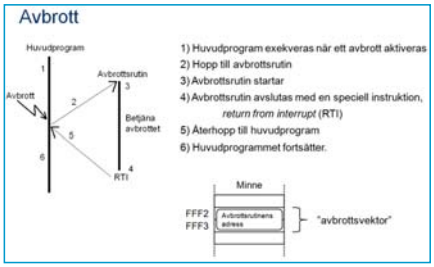
```
      ORG       $FFF2
      FDB       irq_service_routine
      FDB       xirq_service_routine
      FDB       software_interrupt_service_routine
      FDB       illegal_opcode_service_routine
      FDB       cop_service_routine
      FDB       clock_monitor_fail_service_routine
      FDB       Application_Start

; Symbolen "Application_Start_Address" kan vara godtycklig.
      ORG       Application_Start_Address
Application_Start:
      LDS       #TopOfStack
      ...
      ...
      ANDCC     #$FE      ; nollställ I-flagga
      JSR       _main
```

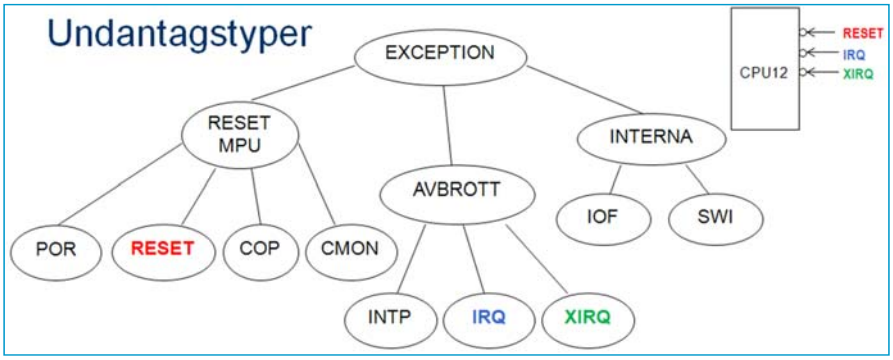
Vår slutliga "appstart" blir nu:

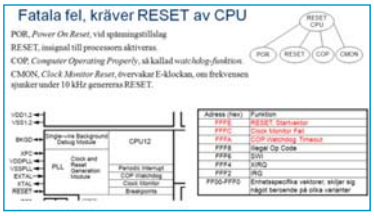
```
        segment   init
        export    _exit
        import    _main
        function  __start,__start_end
*   Här börjar exekveringen...
__start
        LDS       #$2FFF
        JSR       _main
_exit: NOP
        BRA       _exit
__start_end
```

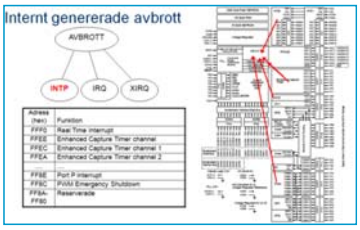


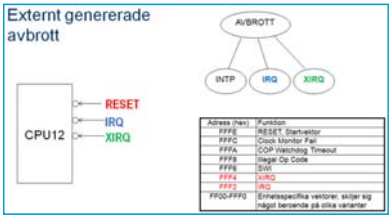
- *beskriva och exemplifiera olika undantagstyper: interna undantag, avbrott och återstart.*

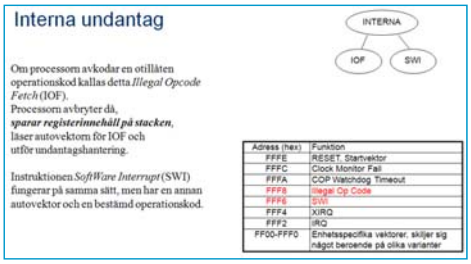


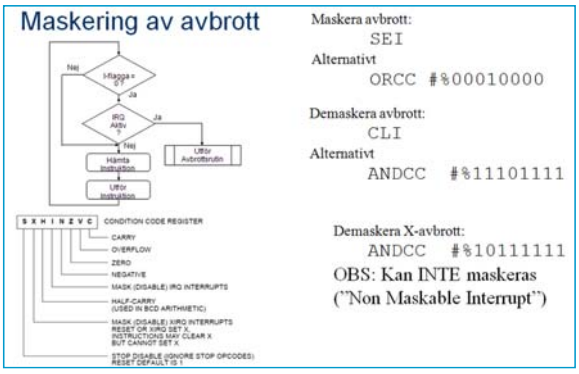



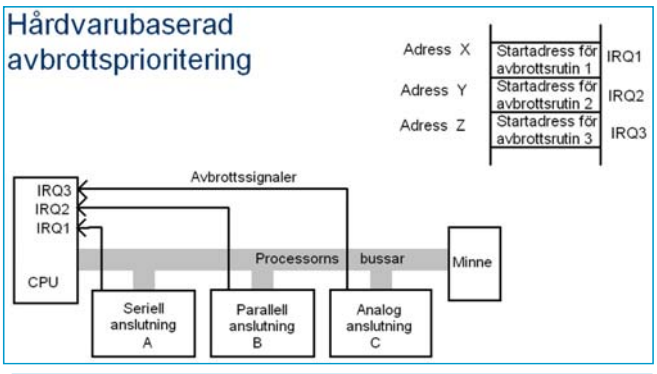



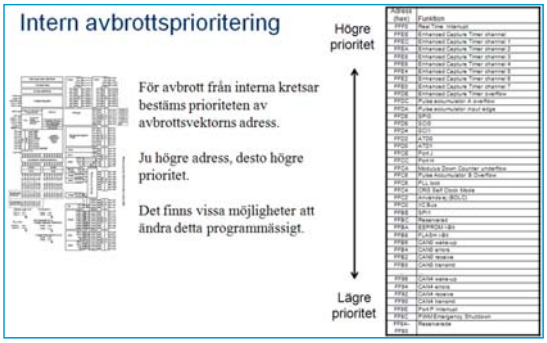


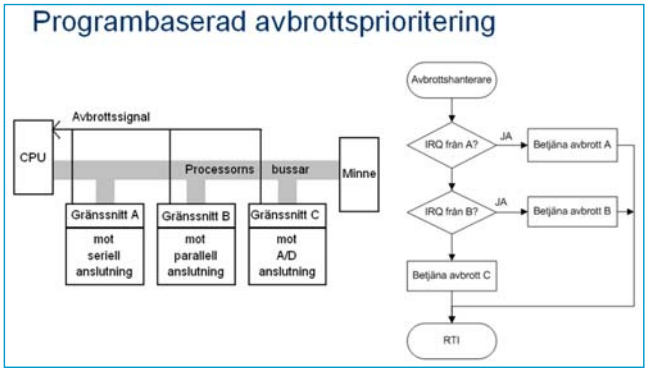



- *beskriva och tillämpa olika metoder för prioritetshantering vid multipla avbrottskällor (mjukvarubaserad och hårdvarubaserad prioritering, avbrottsmaskering, icke-maskerbara avbrott).*



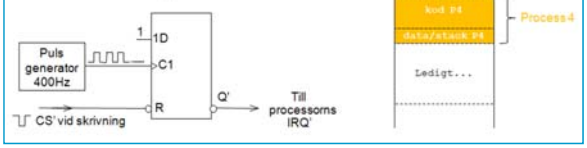
- *kunna beskriva metoder och mekanismer som är centrala i systemprogramvara så som pseudoparallell exekvering och hantering av processer.*

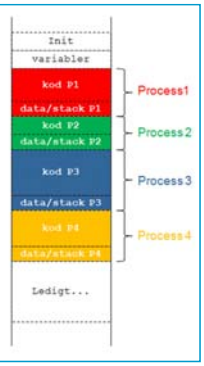
## Processbyte

En processor
– flera program
– körs "samtidigt" (pseudoparallellt)

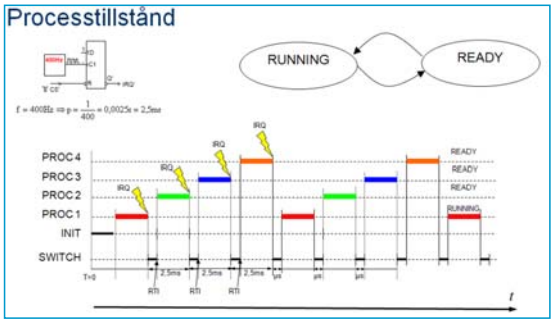
HDW krav: En avbrottskälla som ger regelbundna avbrott (Ex Timer)

SW krav: En avbrottsrutin (SWITCH) som växlar process




## Processtillstånd




## En realtidskärna

*Jan Skansholm*

De funktioner som ingår i realtidskärnan och som ett användarprogram kan använda sig av deklareras i filen process.h som måste inkluderas. Den ser ut på följande sätt:

```
#ifndef PROCESS_H
#define PROCESS_H
#define DEFAULT_STACK_SIZE 128
#define MINIMUM_PRIORITY   1
#define DEFAULT_PRIORITY   MINIMUM_PRIORITY+9
typedef struct process_struct process;      // dold definition i filen process.c
typedef struct semaphore_struct semaphore; // dold definition i filen process.c
typedef void (*function)(void);

extern void init_processes();
extern process *create_process(function f, int prio, int stack_size);
extern void start_process(process *);
extern process *running_process();
extern int get_process_id(process *);
extern unsigned long int get_time();  // resultat ges i ms
extern void delay_process(process *p, unsigned long int t);  // t ges i ms
extern int  get_process_priority(process *);
extern void set_process_priority(process *p, int prio);
```

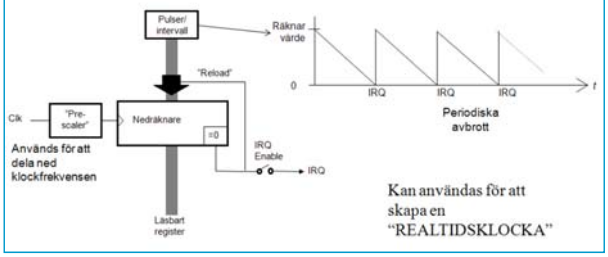
```
void watch(int channel_no, unsigned long int interval) {
  while (1) {
    int i;
    wait(m);      // begär exklusiv tillgång till AD-omvandlaren
    adc_read(channel_no);
    do {
      delay(50);
      i = adc_get_value();
    } while (i == BUSY);
    signal(m);    // frisläpper AD-omvandlaren
    if (i == ERROR)
      warning(err_msg[channel_no]);
    else if ( i <= 20 || i >= 40)
      warning(ill_msg[channel_no]);
    delay(interval);
  }
}

void f1(void) {
  watch(0, 2000);
}

void f2(void) {
  watch(1, 3000);
}
```





- *beskriva och använda kretsar för tidmätning.*

## Räknarkrets ("timer"), principiell funktion




## Realtidsklocka i HCS12

| Address Offset | Use | Access |
|---|---|---|
| $_00 | CRG Synthesizer Register (SYNR) | R/W |
| $_01 | CRG Reference Divider Register (REFDV) | R/W |
| $_02 | CRG Test Flags Register (CTFLG)[1] | R/W |
| $_03 | CRG Flags Register (CRGFLG) | R/W |
| $_04 | CRG Interrupt Enable Register (CRGINT) | R/W |
| $_05 | CRG Clock Select Register (CLKSEL) | R/W |
| $_06 | CRG PLL Control Register (PLLCTL) | R/W |
| $_07 | CRG RTI Control Register (RTICTL) | R/W |
| $_08 | CRG COP Control Register (COPCTL) | R/W |
| $_09 | CRG Force and Bypass Test Register (FORBYP)[2] | R/W |
| $_0A | CRG Test Control Register (CTCTL)[3] | R/W |
| $_0B | CRG COP Arm/Timer Reset (ARMCOP) | R/W |

Tre olika register används för realtidsklockan

NOTES:
1. CTFLG is intended for factory test purposes only.
2. FORBYP is intended for factory test purposes only.
3. CTCTL is intended for factory test purposes only.

## .. Program för initiering..

```
; Adressdefinitioner
CRGINT   EQU     $38
RTICTL   EQU     $3B

timer_init:
; Initiera RTC avbrottsfrekvens
; Skriv tidbas för avbrottsintervall till RTICTL
         MOVB    #$49,RTICTL
; Aktivera avbrott från CRG-modul
         MOVB    #$80,CRGINT
         RTS
```

Anmärkning: Det är olämpligt att använda detta värde då programmet testas i simulator, använd då i stället det kortast tänkbara avbrottsintervallet enligt;

```
; Skriv tidbas för avbrottsintervall till RTICTL
         MOVB    #$10,RTICTL      ; För simulator
```

## Realtidsklocka i HCS12, avbrottshantering

```
; Adressdefinition
CRGFLG  EQU     $37

timer_interrupt:
; Kvittera avbrott från RTC
         BSET    CRGFLG,#$80
         RTI

; Avbrottsvektor på plats…
         ORG     $FFF0
         FDB     timer_interrupt
```

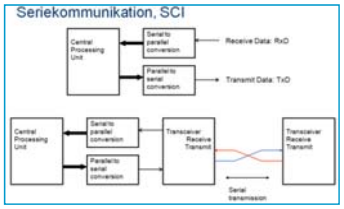
| Adress (hex) | Funktion |
|---|---|
| FFF0 | Real Time Interrupt |
| FFEE | Enhanced Capture Timer channel |
| FFEC | Enhanced Capture Timer channel 1 |
| FFEA | Enhanced Capture Timer channel 2 |
| ... | ... |
| FF8E | Port P Interrupt |
| FF8C | PWM Emergency Shutdown |
| FF8A-FF80 | Reserverade |

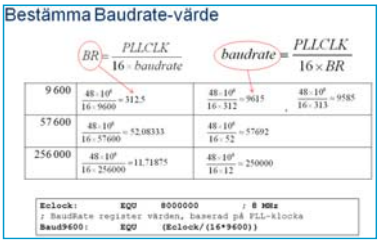
- *beskriva och använda kretsar för parallell respektive seriell överföring.*

Multiplexed External Bus Interface (MEBI)

| Offset | | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | Mnemonic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $00 | R | Bit7 | Bit6 | Bit5 | Bit4 | Bit3 | Bit2 | Bit1 | Bit0 | PORTA |
| | W | | | | | | | | | |
| $01 | R | Bit7 | Bit6 | Bit5 | Bit4 | Bit3 | Bit2 | Bit1 | Bit0 | PORTB |
| | W | | | | | | | | | |
| $02 | R | 1=OUT 0=IN | 1=OUT 0=IN | 1=OUT 0=IN | 1=OUT 0=IN | 1=OUT 0=IN | 1=OUT 0=IN | 1=OUT 0=IN | 1=OUT 0=IN | DDRA |
| | W | | | | | | | | | |
| $03 | R | 1=OUT 0=IN | 1=OUT 0=IN | 1=OUT 0=IN | 1=OUT 0=IN | 1=OUT 0=IN | 1=OUT 0=IN | 1=OUT 0=IN | 1=OUT 0=IN | DDRB |
| | W | | | | | | | | | |
| $04 | R | ..... | | | | | | | | |
| | W | | | | | | | | | |

Figur 4.5: Register för Port A/B som generell IO



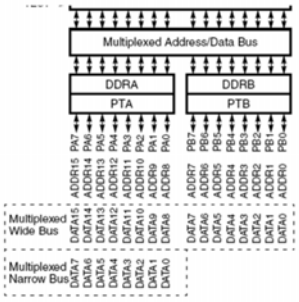



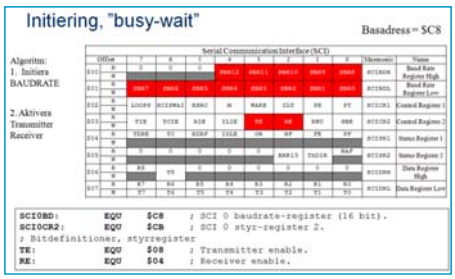

**Exempel 4.50**

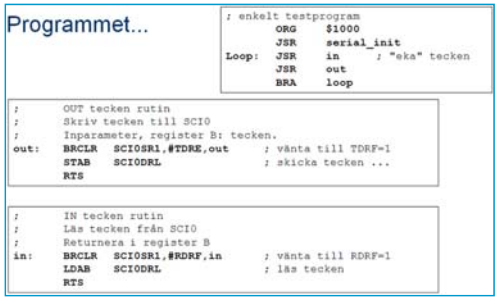
Ange i såväl assemblerspråk som C, programkonstruktioner som initierar port A för användning som inport samt port B för användning som utport.

*Lösning:*

```
PORTA       EQU   0
PORTB       EQU   1
DDRA        EQU   2
DDRB        EQU   3
      ...
            CLR   DDRA
            MOVB  #$FF,DDRB
      ...

typedef struct sMEBI{
      volatile unsigned char porta;
      volatile unsigned char portb;
      volatile unsigned char ddra;
      volatile unsigned char ddrb;
}MEBI, *PMEBI;

#define     MEBI_BASE   0

( ( ( PMEBI )( MEBI_BASE ))-> ddra ) = 0;
( ( ( PMEBI )( MEBI_BASE ))-> ddrb ) = 0xFF;
```



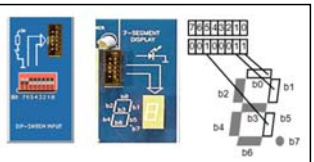





# Av speciell vikt:
## ”maskinorienterad programmering...”

2.24 En strömbrytare och en sju-sifferindikator (se figur) är anslutna till adresser 0x400 respektive 0x600 i ett MC12 mikrodatorsystem.

Konstruera en funktion
`void DisplayNBCD( void )`
som hela tiden läser från strömbrytarna och skriver värden till sju-sifferindikatorn).




När bit 7 på inporten är ettställd skall sifferindikatorn släckas helt. När bit 7 på inporten är nollställd skall sifferindikatorn tändas enligt följande beskrivning:

- Bit 3-0 på inporten anger vad som skall visas på sifferindikatorn.
  - Om indata är i intervallet [0,9] skall motsvarande decimala siffra visas på sifferindikatorn.
  - Om indata är i intervallet [A,F] skall ett ’E’ (Error) visas på sifferindikatorn.
- Bitarna 6-4 på inporten kan anta vilka värden som helst.

Du har tillgång till en tabell i minnet med segmentkoder för de hexadecimala siffrorna [0..F] (mönster för sifferindikatorn) enligt

```
unsigned char SegCodes[]={ 0x77, 0x22, 0x5B, 0x6B, 0x2E, 0x6D, 0x7D, 0x23,
                           0x7F, 0x6F, 0x3F, 0x7C, 0x55, 0x7A, 0x5D, 0x18 };
```

Segmentkoden för bokstaven ’E’ ges av:

```
#define   ERROR_CODE   0x5D
```

Läsa/skriva på fasta adresser (portar)

Datatyper, storlek (8,16 eller 32 bitar...)

Heltalstyper, med eller utan tecken, vad innebär typkonverteringarna?

Bitoperationer &, |, ^ (AND, OR, XOR)

Skiftoperationer <<, >> (vänster, höger)

## Kodningskonventioner

Program som kräver källtexter både i 'C' och assemblerspråk...

2.31 Inledningen (parameterlistan och lokala variabler) för en funktion ser ut på följande sätt:

```
void function( char *b, char a )
{
   char *c, *d;
.....
```

a) Visa hur utrymme för lokala variabler reserveras i funktionen (*prolog*).
b) Visa funktionens aktiveringspost, ange speciellt offseter för parametrar och lokala variabler.

**Kompilatorkonvention XCC12:**

- Parametrar överförs till en funktion via stacken.
- Då parametrarna placeras på stacken bearbetas parameterlistan från höger till vänster.
- Utrymme för lokala variabler allokeras på stacken. Variablerna behandlas i den ordning de påträffas i koden.
- **Prolog** kallas den kod som reserverar utrymme för lokala variabler.
- **Epilog** kallas den kod som återställer (återlämnar) utrymme för lokala variabler.
- Den del av stacken som används för parametrar *och* lokala variabler kallas *aktiveringspost*.

2.31: a)

```
LEAS   -4,SP
```

b)

| Parameter/ variabel | adressering |
|---|---|
| a | 8,SP |
| b | 6,SP |
| c | 2,SP |
| d | 0,SP |





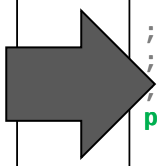
## Pekare och deras användning

```
/*
  strpbrk.c
  C-library function "strpbrk"
*/
#include  <string.h>
char *strpbrk(char *s,char *breakat)
{
  char *sscan, *bscan;

  for (sscan = s; *sscan != '\0'; sscan++) {
    for (bscan = breakat; *bscan != '\0';)
      if (*sscan == *bscan++)
        return sscan;
  }
  return((char *) 0 );
}
```

```
/*
  memcpy.c
  C-library function "memcpy"
*/
#include  <string.h>
void *memcpy(void *dst, void *src, size_t size)
{
  char *d, char *s, size_t n;
  if (size <= 0)
    return(dst);
  s = (char *) src;
  d = (char *) dst;
  if (s <= d && s + (size - 1) >= d) {
  /* Overlap, must copy right-to-left */
    s += size - 1;
    d += size - 1;
    for (n = size; n > 0; n--)
      *d-- = *s--;
  }else
    for (n = size; n > 0; n--)
      *d++ = *s++;
  return(dst);
}
```

## Assemblerprogrammering...

```
# define DATA       *( char *) 0x700
# define STATUS     *( char *) 0x701
void printerprint( char *s )
{
  while( *s )
  {
    while( STATUS & 1 )
    {}
    DATA = *s;
    s++;
  }
}
```



```
; void printerprint( char *s )
_printerprint:
; {
;   while( *s )
    LDX   2,SP
printerprint1:
    TST   ,X
    BEQ   printerprint2
;   {
;     while( !( STATUS & 1) )
;     {}
printerprint3:
    LDAB  $0701
    ANDB  #$01
    BEQ   printerprint3
;     DATA = *s;
    LDAB  1,X+      (även 's++' nedan)
    STAB  $0700
;     s++;
    BRA   printerprint1
printerprint2:
;   }
; }
    RTS
```





# Programmering av inbyggda system 2012/2013

*Sammanfattad...*

Fredag 31/5

Tentamen, 14.00-18.00