Laboratiioner med MC12
Realtidssystem

Innan du börjar...

I detta häfte behandlas laborationer med enkortsdatorn *MC12* och laborationskortet *ML13*.

Handböcker som beskriver *MC12* och *ML13* finner du på GMV's hemsida, www.gbgmv.se.

Laborationerna genomförs med programutvecklingsmiljön *XCC12*.

I *XCC* finns simulatorer för såväl *MC12* som *ML13*. Hjälpsystemet i *XCC* innehåller beskrivningar av hur du konfigurerar simulatorn och ansluter en simulerad variant av *ML13*. Praktiskt taget alla uppgifter kan lösas med hjälp av simulatorerna i *XCC*.

Det förutsätts att du har en grundläggande förståelse för mikroprocessorn *MC68HC12* och att du tidigare bekantat dig med dess instruktionsrepertoir och dessutom självständigt genomfört viss assemblerprogrammering. Det förutsätts vidare att du har grundläggande programmeringskunskaper, speciellt i programspråket 'C'.

1. Tidsdelning

Under momentet studerar du:
- Parallellexekvering
- Klockrutinen
- MC68HCS12's periodiska räknare

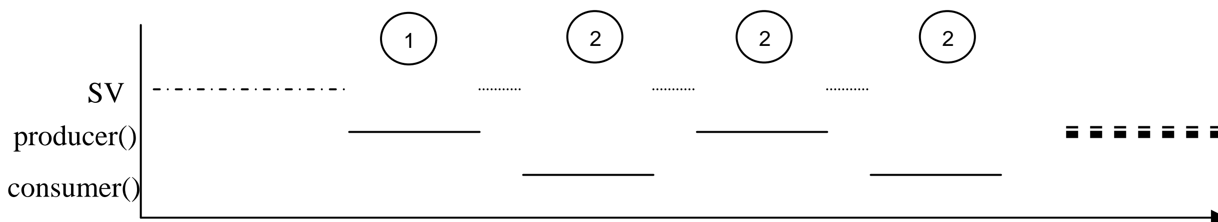
Under denna inledande laboration ska vi visa ett enkelt exempel på hur *tidsdelning* (*time-sharing*) kan utföras. Processortiden ska delas lika mellan två *applikationsprogram:*

- `producer()` producerar ASCII-tecknen 'a','b','c'.....osv och placerar tecknen efter hand i en buffert.
- `consumer()` läser tecken från buffert och skriver dessa till bildskärmen..

För att genomföra uppgiften måste du konstruera programrutiner för *stackhantering* och *avbrott*, låt oss först studera problemet i detalj.

Beskrivning av uppgiften

Programexekveringen illustreras av följande figur som visar hur processor'n tilldelas de olika programdelarna. Med 'SV' menas här *supervisor*, dvs de delar du själv ska konstruera:



SV hanterar situationerna '1' och '2' ovan. Vi börjar med situation '2', den är enklast:

2) Ett program har blivit avbrutet av räknarkretsen, vi måste tillhandahålla avbrottsrutinen 'timer_interrupt', denna ska:

a) spara programmets flyktiga omgivning
b) starta det andra programmet

Programmets "flyktiga omgivning" utgörs av processorns registerinnehåll. Vid avbrott sparas automatiskt samtliga registerinnehåll på stacken, vi behöver inte bekymra oss mer för detta.

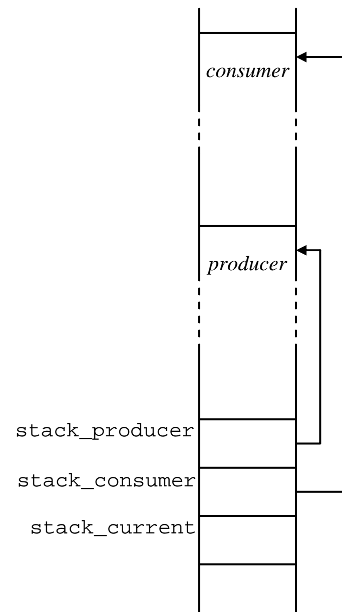
Nästa steg blir att "starta nästa program", vilket är då detta??? ('producer' eller 'consumer'), vi behöver uppenbarligen en variabel, låt oss kalla den RUNNING, som anger vilket program som exekveras. Om running är 0, exekveras program 'producer()' om RUNNING är 1 exekveras program 'consumer()'. Vi är nu klara för detaljerna i den så kallade *klockrutinen*.

Klockrutinen

Algoritmen för 'timer_interrupt' måste utformas så att den klarar av att återstarta ett program. Eftersom vi sparar ett avbrutet program's flyktiga omgivning på något sätt måste vi också återställa det på motsvarande sätt. Varje program har sin egen stack i minnet (se figur i marginalen) och algoritmen för 'timer_interrupt' blir:

timer_interrupt:

save processor context;
save current_stack;
if(RUNNING==producer){
stack_producer = current_stack;
running = consumer;
current_stack = stack_consumer;
}else{
stack_consumer = current_stack;
running = producer;
current_stack = producer_stack;
}
restore current_stack;
restore processor context;
return from interrupt;



Uppenbarligen behövs variabler för att spara de olika stackpekarna. Implementera nu avbrottsrutinen ‘timer_interrupt’ i assemblerspråk. (Det kan inte utföras i ’C’)...

```
timer_interrupt:
      ...         spara omgivning
      ...         spara SP i current_stack
      utför if/else
      ...
      ...         återställ current_stack till SP
      ...         återställ omgivning
      RTI
```

Välj namnet:
mom1-low.s12
för denna källtext.

Initieringar

Du måste också hantera ”situation 1” dvs åstadkomma alla nödvändiga initieringar. Då ’producer()’ programmet startas första gången, bör detta bli på samma sätt som då avbrottsrutinen startar ett nytt program, det innebär att vi måste skapa en *aktiveringspost* motsvarande den som ges i satsen:

current_stack = producer_stack;

i avbrottsrutinen. Följande sekvens gör det jobbet:

```
* skapa initial aktiveringspost för 'producer'
      LDS   #a_stack_producer
      LDX   #_producer
      PSHX              PC - till producer
      PSHY              Y - innehållet är odefinierat
      PSHX              X - innehållet är odefinierat
      PSHA              A - innehållet är odefinierat
      PSHB              B - innehållet är odefinierat
* sist placerar vi CCR för process 1, här måste I-flaggan
* vara 0 för att processbyten ska kunna utföras senare. Vi kan dock
* inte nollställa I-flaggan ännu, ty avbrottshanteringen är ännu inte
* fullständigt initierad, vi använder A-registret för att skapa ett
* CC-innehåll på stacken
      TPA               CC -> A
      ANDA  #%11101111  0 -> I-flagga
      PSHA
      STS   stack_producer
```

Motsvarande initiering görs även för ’consumer()’. Nästa steg blir att initiera räknarkretsen så att den genererar avbrott med jämna mellanrum. Vi använder här den periodiska räknaren hos *MC68HCS12*, den är avsedd för sådana här ändamål och därför också enkel att hantera.

Periodisk räknare

MC68HCS12 innehåller en modul CRG (*Clocks and Reset Generator*) med flera funktioner så som namnet antyder. Speciellt finns en RTI (*Real Time Interrupt*) funktion som vi ska använda här. Modulen har alltså fler funktioner men vi nöjer oss med att behandla RTI.

RTI-funktionen utgörs av en enkel räknare kopplad till centralenhetens avbrottsingång. Funktionen kontrolleras via tre register:

CRGINT (adress $38)
Registret används för att aktivera avbrott

7	6	5	4	3	2	1	0
RTIE	0	0	LOCKIE	0	0	SCMIE	0

- RTIE: Aktivera avbrott från RTI-funktionen. Denna bit måste sättas till 1 för att avbrott ska genereras.
- LOCKIE,SCMIE, används ej här. Ska vara 0.

RTICTL (adress $3B)
Registret används för att initiera en tidbas för den periodiska räknaren. En skrivning till detta register aktiverar RTI-funktionen.

7	6	5	4	3	2	1	0
0	RTR6	RTR5	RTR4	RTR3	RTR2	RTR1	RTR0

RTR-bitarna bestämmer avbrottsintervallet från räknaren. Systemets klockfrekvens (8 MHz) delas med ett tal specificerat av RTR-bitarna enligt följande tabell:

RTR [3:0]	RTR[6:4]							
	000 (OFF)	001	010	011	100	101	110	111
0000	OFF	2^{10}	2^{11}	2^{12}	2^{13}	2^{14}	2^{15}	2^{16}
0001	OFF	$2x2^{10}$	$2x2^{11}$	$2x2^{12}$	$2x2^{13}$	$2x2^{14}$	$2x2^{15}$	$2x2^{16}$
0010	OFF	$3x2^{10}$	$3x2^{11}$	$3x2^{12}$	$3x2^{13}$	$3x2^{14}$	$3x2^{15}$	$3x2^{16}$
0011	OFF	$4x2^{10}$	$4x2^{11}$	$4x2^{12}$	$4x2^{13}$	$4x2^{14}$	$4x2^{15}$	$4x2^{16}$
0100	OFF	$5x2^{10}$	$5x2^{11}$	$5x2^{12}$	$5x2^{13}$	$5x2^{14}$	$5x2^{15}$	$5x2^{16}$
0101	OFF	$6x2^{10}$	$6x2^{11}$	$6x2^{12}$	$6x2^{13}$	$6x2^{14}$	$6x2^{15}$	$6x2^{16}$
0110	OFF	$7x2^{10}$	$7x2^{11}$	$7x2^{12}$	$7x2^{13}$	$7x2^{14}$	$7x2^{15}$	$7x2^{16}$
0111	OFF	$8x2^{10}$	$8x2^{11}$	$8x2^{12}$	$8x2^{13}$	$8x2^{14}$	$8x2^{15}$	$8x2^{16}$
1000	OFF	$9x2^{10}$	$9x2^{11}$	$9x2^{12}$	$9x2^{13}$	$9x2^{14}$	$9x2^{15}$	$9x2^{16}$
1001	OFF	$10x2^{10}$	$10x2^{11}$	$10x2^{12}$	$10x2^{13}$	$10x2^{14}$	$10x2^{15}$	$10x2^{16}$
1010	OFF	$11x2^{10}$	$11x2^{11}$	$11x2^{12}$	$11x2^{13}$	$11x2^{14}$	$11x2^{15}$	$11x2^{16}$
1011	OFF	$12x2^{10}$	$12x2^{11}$	$12x2^{12}$	$12x2^{13}$	$12x2^{14}$	$12x2^{15}$	$12x2^{16}$
1100	OFF	$13x2^{10}$	$13x2^{11}$	$13x2^{12}$	$13x2^{13}$	$13x2^{14}$	$13x2^{15}$	$13x2^{16}$
1101	OFF	$14x2^{10}$	$14x2^{11}$	$14x2^{12}$	$14x2^{13}$	$14x2^{14}$	$14x2^{15}$	$14x2^{16}$
1110	OFF	$15x2^{10}$	$15x2^{11}$	$15x2^{12}$	$15x2^{13}$	$15x2^{14}$	$15x2^{15}$	$15x2^{16}$
1111	OFF	$16x2^{10}$	$16x2^{11}$	$16x2^{12}$	$16x2^{13}$	$16x2^{14}$	$16x2^{15}$	$16x2^{16}$

CRGFLG (adress $37)
Statusegister, alla bitar är läsbara och varje bit representerar någon händelse.

7	6	5	4	3	2	1	0
RTIF	PORF	0	LOCKIF	LOCK	TRACK	SCMIF	SCM

- RTIF: Biten sätts till 1 vid avbrott från RTI-funktionen. Avbrottsignalen kvitteras genom att en etta skrivs till RTIF-biten.
- Övriga bitar, används ej här, nollor kan skrivas till dessa bitar utan att påverka någon funktion.

Då räknaren initierats/aktiverats, kommer den att räkna ned ett intervall och därefter begära avbrott, räknarvärdet initieras därefter på nytt automatiskt av kretsen och ett nytt intervall påbörjas. Avbrottet måste kvitteras för att återställa IRQ-signalen till en passiv nivå, detta görs alltså i en avbrottshanterinsrutin.

Oftast är det inte möjligt att åstadkomma tidbaser i basen 10. Följande exempel illustrerar hur man bestämmer RTR-bitarna för ett (approximativ) 10 ms avbrottsintervall:

EXEMPEL:
Önskat avbrottsintervall **10ms**
Klockfrekvens (MC12): **8 MHz**

Det gäller att:

$$8\ \text{MHz} = RTR * 10\ \text{ms}$$

dvs

$$RTR = 80000$$

Detta värde kan inte representeras (se tabell ovan) och vi måste därför hitta den bästa approximationen, i vårt fall:

RTR (= 100 1001 = $49) som medför: $10 \times 2^{13} = 81920$

Eftersom detta värde är något större än det optimala, kommer vi att få en något längre periodtid, nämligen:

avbrottsfrekvens = $8\ 10^{6} / 81920 = 97.656$ Hz

vilket ger periodtiden

$$0.01024\ \text{s} = 10{,}24\ \text{ms}.$$

Klocka kommer alltså att "släpa efter" som en följd av detta systematiska fel.

Följande kodsekvenser ger exempel på användning av RTI i *MC68HCS12*.

```
      segment     abs
* Definitioner för RTC-kretsen i HC12
CRGFLG      equ   $37
CRGINT      equ   $38
RTICTL      equ   $3B
* Flagga
RTIF        equ   $80

timer_init:
* avbrottsvektor måste initieras under DBG12...
      LDX   #timer_interrupt
      STX   $3FF0       Avbrottsvektor RTC
* men vi skriver den också till 'rätt' adress för
* att även kunna använda exemplet i simulatorn...
      STX   $FFF0

* initiera RTC avbrottsfrekvens
      MOVB  #$49,RTICTL
* tidsbas 10,24 ms, se exempel ovan
* initiera RTC
      MOVB  #$80,CRGINT       aktivera avbrott

* nollställ I-flagga så att avbrott accepteras
      CLI

      RTS
```

Då du arbetar med simulatorn bör du välja en betydligt kortare tidbas. Värdet $10 är den kortast möjliga.

Vid avbrott måste som sagt detta kvitteras, det följande ger exempel på en minimal avbrottsrutin för RTC'n.

```
timer_interrupt:
* kvittera avbrott från RTC
      BSET  CRGFLG,#RTIF
      RTI
```

Det är nu dags att sätta samman allt sammans till ett 'main'-program. Följande "skelett" ger dig huvuddragen för `'mom1-low.s12'`. Applikationsprocesserna (producer/consumer) finner du nedan.

```
* mom1-low.s12
      segment     abs
* Definitioner för RTC-kretsen i HC12
CRGFLG      equ   $37
CRGINT      equ   $38
RTICTL      equ   $3B
* Flagga
RTIF        equ   $80

STKSIZE     EQU   $40   stackutrymmen för program

* Datadeklarationer
      bss
*'STKSIZE' bytes stackutrymme för 'producer'
      RMB   STKSIZE-1
a_stack_producer  RMB   1

'STKSIZE' bytes stackutrymme för 'consumer'
      RMB   STKSIZE-1
a_stack_consumer  RMB   1

RUNNING     RMB   1     anger exekverande program

* temporär lagring stackpekare för 'RUNNING'
current_stack     RMW   1


* temporär lagring stackpekare för 'producer'
stack_producer    RMW   1
```

```
* temporär lagring stackpekare för 'consumer'
stack_consumer    RMW   1

      segment     text        starta KOD-segment

* Följande funktioner är definierade i 'mom1.c'
      extern      _producer
      extern      _consumer
*
*     Programexekveringen startar här
*
      define      _main
      entry       _main
_main:
      init_producer;
      init_consumer;
      init_RTC;
*
*    utför nu start av 'producer()' så som
*    'timer_interrupt' gör det...
      CLR   RUNNING
      LDS   stack_producer
      RTI
*     Exekveringen kommer aldrig tillbaks hit...
```

producent-konsument processerna ska se ut på följande sätt:

```
/*
      mom1.c
      Enkel 'producent/konsument'
*/

#include     <_startup.h> // För '_outchar'

// 25 tecken i engelska alfabetet
#define BUFSIZE     25+1

char  buffer[BUFSIZE];
int position;


void  producer(void)
{
      char  tecken;
      position = -1;
      tecken = 'a';
      while(1){    // oändlig slinga
            if(position < BUFSIZE-1){
                  buffer[++position]=tecken;
                  if(tecken == 'z')
                        tecken = 'a';
                  else
                        tecken++;
            }
      }
}

void  consumer(void)
{
      char  tecken;
      while(1){    // oändlig slinga
            if(position >= 0){
                  tecken = buffer[position--];
                  _outchar( tecken);
            }
      }
}
```

Implementering och test

Du bör nu vara mogen att implementera och testa denna första enkla applikation. Du kan använda den inbyggda simulatorn i *XCC12* tillsammans med IO-simulatorn för att testa programmet *innan* du går till laborationsplatsen. Följande arbetsgång kan vara lämplig:

- Starta XCC12
- Skapa ett nytt 'Workspace' - namnge det 'RTLAB'.
- Skapa ett nytt projekt, 'moment1', använd standardinställningarna som föreslås.
- Skapa källtexterna 'mom1-low.s12' respektive 'mom1.c' enligt tidigare anvisningar.
- Lägg de nya källtexterna till projektet.
- Välj 'Build All' för att skapa applikationen.
- Testa programmet med *XCC12*'s debugger, använd simulatorn för att koppla 'Console' till seriekommunikationskretsen så att du kan se programmets utskrifter.

Tänk på att realtidsegenskaperna skiljer sig markant mellan simulator och den verkliga laborationsutrustningen. Allmänt gäller att det går betydligt långsammare i simulatorn. Använd kortast möjliga tidbas då du testar i simulatorn, annars får du vänta länge på utskrifter från programmet.

Vid laborationsplatsen:

> Tänk på att du ska ha med dina egna källtextfiler till laborationsplatsen. Du gör nu på samma sätt som under dina tidigare förberedelser (implementering och test) men laddar det färdiga programmet till laborationsdatorn i stället för debuggern.

Provkör programmet med periodtid (10.24 ms) för klockrutinen, granska en utskriftsföljd som börjar på ’a’, vad ser du? (Skriv upp de 10 påföljande tecknen):

Ändra nu initieringen av räknaren så att ett kortare avbrottsintervall används, kompilera om och ladda ned på nytt, provkör programmet. granska en utskriftsföljd som börjar på ’a’, vad ser du? Utskrifterna kommer betydligt snabbare, avbryt laborationsdatorn genom att trycka på reset-knappen, granska en utskriftsföljd som börjar på ’a’, vad ser du? (Skriv upp de 10 påföljande tecknen)

Granska ytterligare tre andra (godtyckligt valda) utskriftsföljder som börjar på ’a’, skriv upp de 10 påföljande tecknen)?

Är detta ett förväntat resultat?

Försök förklara förklara likheter/skillnader?

Vilka slutsatser kan du dra av denna implementering av producent/konsument-problemet?

Kontrollstation 1

2. Tidsstyrd dörrautomat

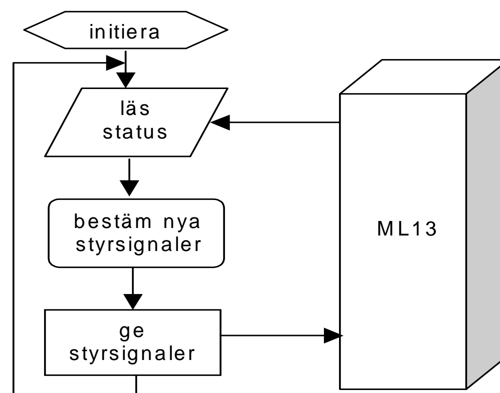
Under detta moment ska du implementera en 'dörrautomat' med ML13 utan att använda avbrott.

Beskrivning av ML13 finns i separat handbok, en enklare beskrivning finns även under hjälpsystemet i XCC12

Den tidsstyrda implementeringen av en dörrautomat ska fungera på följande sätt:

- Om någon närmar sig dörrutrymmet ska dörren öppnas.
- Efter att ha varit öppen (i några sekunder) ska dörren stängas automatiskt.
- Dörren får inte stängas om det finns någon kvar i dörrutrymmet
- Om någon närmar sig dörrutrymmet under tiden dörren stängs ska den omedelbart öppnas igen.

Huvudprogrammets struktur beskrivs grovt av följande illustration:



Implementeringen ska göras, helt och hållet, i programspråket 'C'.

Tips:
För att läsa från *ML13's* IO-portar direkt i 'C' kan först följande "macros" definieras:

```
#define ML13_Status     0xB00
#define read_control *((char *)ML13_Status)
```

macrot kan sedan användas, exempelvis på följande sätt:

```
      if( read_control & 0x03 ){ ....}
```

där if-satsen utförs om någon av bit 0 eller bit 1 i *ML13's* statusregister är 1.

För att skriva till *ML13's* IO-portar direkt i 'C' kan först följande "macros" definieras:

```
#define ML13_Control    0xB00
#define set_control(x) *((char *)ML13_Control)=x
```

macrot kan sedan användas, exempelvis på följande sätt:

```
          set_control(0x1);
```

satsen skriver värdet 1 till *ML13's* styrregister

Implementering och test

Läroboken ger ett utförligt förslag på hur denna uppgift ska lösas'.

- Skapa ett nytt projekt 'moment2' i workspace 'RTLAB'. Använd standardinställningarna som föreslås.
- Skapa en källtextfil `MOM2.C` med ett huvudprogram som löser laborationsuppgiften. Lägg till denna fil till projektet.
- Testa programmet med *XCC12*'s debugger, använd simulatorn för att koppla *ML13* till adress $B00 så att du kan observera "dörrens" beteende.

Vid laborationsplatsen

Tänk på att du ska ha med dina egna källtextfiler till laborationsplatsen. Du gör nu på samma sätt som under dina tidigare förberedelser (implementering och test) men laddar det färdiga programmet till laborationsdatorn i stället för debuggern.

Kontrollstation 2

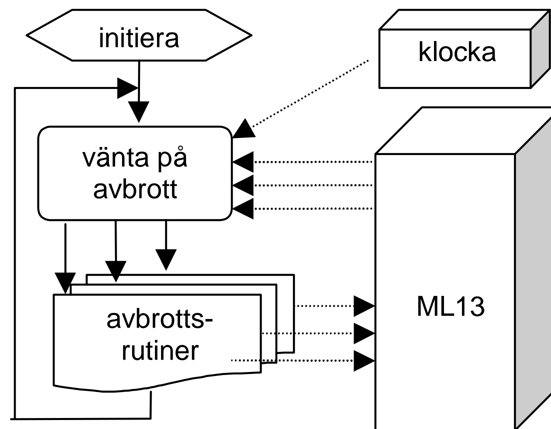
3. Händelsestyrd dörrautomat

Under detta moment tar vi hjälp av ML13's avbrottsmekanismer och implementerar en händelsestyrd dörrautomat.

Den händelsestyrda implementeringen av dörrautomaten ska ha samma funktion som den tidsstyrda implementeringen, dvs:

- Om någon närmar sig dörrutrymmet ska dörren öppnas.
- Efter att ha varit öppen (i några sekunder) ska dörren stängas automatiskt.
- Dörren får inte stängas om det finns någon kvar i dörrutrymmet
- Om någon närmar sig dörrutrymmet under tiden dörren stängs ska den omedelbart öppnas igen.

Huvudprogrammets struktur beskrivs denna gång av följande illustration:



Förberedelser:

Det slutgiltiga programmet ska skrivas i 'C'. Vi gör dock en ”mellanlösning” där viss funktionalitet implementerats med assemblerkod. I det följande beskrivs den assemblerkod du ska använda.
Du ska senare skriva om dessa funktioner i ’C’. Detta gäller såväl vanliga funktioner som avbrottsrutin.

```
*
*     Assemblerrutiner för
*     händelsestyrd "dörrautomat"

      segment     abs
ML13_IRQ_Status   EQU   $B01
ML13_IRQ_Control  EQU   $B01

NO_IRQ_TYPE       EQU   0
SENSOR            EQU   1
CLOSED_DOOR       EQU   2
OPENED_DOOR       EQU   4
CLOSING_DOOR      EQU   8
OPENING_DOOR      EQU   16
TIME_OUT          EQU   32

*
* Definitioner för RTC-kretsen i HC12
CRGFLG            EQU   $37
CRGINT            EQU   $38
RTICTL            EQU   $3B
* Flagga
RTIF              EQU   $80

* tidsbas ( se CRG-modul HCS12)
* Med laborationsmaskin använder vi korrekt
* tidsbas i simulatorn ger den dock allt för långa
* fördröjningar
#ifdef SIM
TimeBase    EQU   %00010000   kortast möjliga
#else
TimeBase    EQU   %01111001   längsta möjliga
#endif

      segment     text
      define      _standby
      entry       _standby
_standby:
      WAI               vänta på avbrott
      RTS
      exit  _standby

*
*
*
      extern      _interrupt_type
*     sätts av avbrottshanterare

      define      _init_irq
*     void  init_irq(void);
*     sätt upp för avbrott från ML13
      entry _init_irq
_init_irq:
      CLR   ML13_IRQ_Control        kvittera
avbrott
* avbrottsvektor måste initieras under DBG12...
      LDX   #ptimirq
      STX   $3FF0       Avbrottsvektor RTC
* men vi skriver den också till 'rätt' adress för
* att även kunna använda exemplet i simulatorn...
      STX   $FFF0

* För normalt IRQ...(från ML13)
      LDX   #ML13_irq
      STX   $3FF2
      STX   $FFF2

      CLI               acceptera avbrott
      RTS
      exit  _init_irq
```

```
*
* Avbrottsrutin för ML13
ML13_irq:
      CLRA
      LDAB  ML13_IRQ_Status
      BITB  #1
      BEQ   n1
      LDAB  #OPENED_DOOR
      STD   _interrupt_type
      BRA   n7

n1:   BITB  #2
      BEQ   n2
      LDAB  #CLOSED_DOOR
      STD   _interrupt_type
      BRA   n7

n2:   BITB  #4
      BEQ   n3
      LDAB  #SENSOR
      STD   _interrupt_type
      BRA   n7

n3:   BITB  #8
      BEQ   n4
      LDAB  #SENSOR
      STD   _interrupt_type
      BRA   n7

n4:   BITB  #$10
      BEQ   n5
      LDAB  #OPENING_DOOR
      STD   _interrupt_type
      BRA   n7

n5:   BITB  #$20
      BEQ   n6
      LDAB  #CLOSING_DOOR
      STD   _interrupt_type
      BRA   n7

n6:   LDAB  #NO_IRQ_TYPE
      STD   _interrupt_type
n7:   CLR   ML13_IRQ_Control  kvittera avbrott
      RTI

      segment     text
      define _set_timeout
*     void  set_timeout(int sekunder)
*     max 255 sekunders fördröjning ...
_set_timeout:
      PSHY
      TSY
      LDD   4,Y   antal sekunders fördröjning
*
*     Med 8 MHz HC12
*     Längsta tidbas är 10 * 2**16
*     = 655360 cykler = 0,08192 sekunder
*     = 12,2 avbrott/sekund...
      LDAA  #12
      MUL               antal avbrott innan timeout
* Rimlighetskontroll ...
      BEQ   set_tim_exit
      STD   delay_count
      LDAA  #TimeBase         se ovan
      STAA  RTICTL
      MOVB  #$80,CRGINT set RTIE
set_tim_exit
      PULY
      RTS


* avbrott från realtidsklockan
ptimirq:
* kvittera avbrott
```

```
      BSET  REGBASE+CRG+CRGFLG,#RTIF
      LDD   delay_count
      BEQ   timeout
      SUBD  #1
      STD   delay_count
      RTI

* vid timeout, stanna timerkretsen
timeout:
      CLR   RTICTL
      LDD   #TIME_OUT
      STD   _interrupt_type
      RTI

      BSS
delay_count:
      RMW   1     static, exporteras inte...
```

Implementering och test

Läroboken ger ett utförligt förslag på hur huvudprogrammet i denna uppgift ska utformas.

- Skapa ett nytt projekt 'moment3' i workspace 'RTLAB'. Använd standardinställningarna som föreslås.
- Skapa en källtextfil `MOM3.C` med ett huvudprogram som löser laborationsuppgiften. Lägg till denna fil till projektet.
- Skapa en källtextfil `MOM3-LOW.S12` (assembler) med de rutiner som lämpligen skrivs i assembler. Lägg denna fil till projektet.
- Testa programmet med *XCC12*'s debugger, använd simulatorn för att koppla *ML13* till adress $B00 så att du kan observera "dörrens" beteende. Tänk på att *ML13*-simulatorn kan konfigureras för att generera avbrott, detta är samma sak som då du ansluter avbrottsignalen från ett verkligt *ML13* till avbrottsingången hos *MC12*.
- Skapa en ny källtext `MOM3-IRQ.C`. I denna källtext implementerar du nu de funktioner som är givna i assemblerspråk, du ska alltså här skriva om dom i 'C'.

Använd det givna förslaget till assembler-program.

Vid laborationsplatsen

Inför laborationen måste en avbrottsutgång på *ML13* kopplas till rätt avbrottsingång på *MC12*.

> Tänk på att du ska ha med dina egna källtextfiler till laborationsplatsen. Du gör nu på samma sätt som under dina tidigare förberedelser (implementering och test) men laddar det färdiga programmet till laborationsdatorn i stället för debuggern.

Kontrollstation 3

4. Non-Pre-Emptive Scheduling

Under detta moment får du stifta bekantskap med en enkel realtids-kärna, *RTK12*.

Du ska använda RTK12 för att utföra tre processer under en "non-pre emptive" schemaläggnings-strategi.

I detta moment ska vi se hur *RTK12* kan användas med en *Non-Pre-Emptive* schemaläggningsstrategi. Vi illustrerar samtidigt det huvudprogram som varje applikation för *RTK12* måste innehålla.

Realtidskärnan finns tillgänglig som programbibliotek ("librtkd.e12" och "librtk.e12") under *XCC12*.

Läs om RTK12 under XCC12's hjälpsystem.!

RTK12's funktioner

Varje *RTK12*-applikation innehåller ett huvudprogram och ett antal funktioner som kommer att behandlas som processer. *RTK12* tillhandahåller ett antal funktioner för processhantering och synkronisering.

```
void  InitKernel(int, void(*)());
```

initierar *RTK12*'s interna datastrukturer. Parameter 1 är ett heltal som sätter systemets "timeslice", dvs antal klockavbrott mellan varje anrop av applikationens avbrottshanterare. Parameter 2 är en pekare till den funktion (inga parametrar, inget returvärde), som *utgör* applikationens avbrottshanterare. Jämför med parameterlistan till `set_timer()`.

Skillnaden mellan 'StartKernel' och 'StartKernelForSim' är att den sistnämnda ger betydligt kortare fördröjningar. Använd denna då du arbetar med simulator.

```
void  StartKernel(void);
void  StartKernelForSim(void);
```

inga parametrar, aktiverar realtidsklockan och startar den första processen. Om ingen process är exekverbar anropas `ExitKernel()`.

```
void  ExitKernel(void);
```

avslutar *RTK12*, stänger av realtidsklockan, kontrollerar processkön så att ingen process finns kvar.

```
int   CreateProcess( char *, void(*)() );
```

skapar process under *RTK12*. Parameter 1 är en pekare till en teckensträng med processens namn, denna används för diagnostiska ändamål. Parameter 2 är en pekare till den funktion (inga parametrar, inget returvärde) som ska registreras som process. Antalet processer som kan skapas under *RTK12* är statiskt bestämt av konstanten `MAX_PROCESSES` i `_rtk.h`. Returvärdet är -1 om processen inte kan skapas.

```
void  TerminateProcess(int);
```

avslutar anropande process och sparar status om processen. Processen kommer efter detta inte att exekveras men processkontrollblocket sparas så att detta kan undersökas av någon annan process, alternativt inspekteras då `ExitKernel()` utförs.

En applikation för *RTK12* består av ett huvudprogram och ett antal processer. Ett huvudprogram har alltid samma struktur:

- Initiera kärnan
- Skapa alla processer
- Initiera eventuella semaforer (beskrivs i senare moment)
- Starta kärnan.

Processer

En *RTK12*-process har samma utseende som en C-funktion utan parametrar. Det finns dock några viktiga skillnader som man måste tänka på då man programmerar processerna:

- En process är inte en funktion i den meningen att den kan anropas från någon annan process (eller funktion).
- Exekveringen av en process kan, när som helst, komma att avbrytas, för att vid ett senare tillfälle återupptas.
- Flera processer kan dela samma funktioner, dvs anropa samma subrutiner. Observera då att globala variabler som delas av flera processer (eller används av funktioner som delas av flera processer) som regel måste skyddas mot inkonsistent uppdatering (se kurslitteraturen).

Applikationen mom4.c

Applikationen för detta moment består av huvudprogram, två processer (P1 och P2) och en avbrottshanterare. Huvudprogrammet följer exakt den struktur som beskrivits ovan. Observera speciellt att en avbrottshanterare *måste* tillhandahållas även om, som i detta fall, ingenting speciellt ska utföras vid avbrott. Vi vill illustrera *non-preemptive scheduling* och skriver därför två processer, som ska utföras sekvensiellt. Observera att i allmänhet kan man inte göra något antagande om *i vilken ordning* processerna kommer att startas av realtidskärnan. För *RTK12* gäller dock regeln att processerna startas i samma ordning som de skapats. (Se källtexter "`CreateProcess(`" och "`dispatch()`".

Processerna P1 och P2 är likartade, de ser ut på följande sätt:

```
void P1(void)
{
int i;
     for(i=0;i<1000;i++)
          _outchar('1');

     TerminateProcess(0);
}

void P2(void)
{
int i;
     for(i=0;i<1000;i++)
          _outchar('2');

     TerminateProcess(0);
}
```

Dvs, P1 skriver ut 1000 ettor till bildskärmen och terminerar därefter, P2 skriver ut 1000 tvåor till bildskärmen och terminerar.

Avbrottshanteraren gör i detta fall ingenting, men måste finnas med:

```
void AtInterrupt(void)
{
}
```

Huvudprogrammet...

```
main()
{
    InitKernel(TIMESLICE, AtInterrupt);
    if( CreateProcess("P1", P1) == -1){
         printl("\nCan't create process");
         exit();
    }
    if( CreateProcess("P2", P2) == -1){
         printl("\nCan't create process");
         exit();
    }
    StartKernel();
}
```

Använd 'StartKernelForSim' då du arbetar med simulator.

Nu kan det vara hög tid att prova detta ...

Implementering och test

Läroboken ger ett utförligt förslag på hur huvudprogrammet i denna uppgift ska utformas.

- Skapa ett nytt projekt 'moment4' i workspace 'RTLAB'. Använd standardinställningarna som föreslås.
- Skapa en källtextfil `MOM4.C` med ett huvudprogram, avbrottshanterare och processer enligt. Lägg till denna fil till projektet. Använd värdet 100 för TIMESLICE.
- Testa programmet med *XCC12*'s debugger, använd simulatorn för att koppla 'Console' till seriekommunikationskretsen så att du kan se programmets utskrifter.

Vid laborationsplatsen

Tänk på att du ska ha med dina egna källtextfiler till laborationsplatsen. Du gör nu på samma sätt som under dina tidigare förberedelser (implementering och test) men laddar det färdiga programmet till laborationsdatorn i stället för debuggern.

Kontrollstation 4

5. Pre-Emptive Scheduling - Timesharing

Under detta moment ska vi illustrera *Pre-Emptive-Scheduling*, dvs en schemaläggningsstrategi där processer tillfälligt avbryts för att senare återstartas. Detta förfarande är mycket vanligt i realtids-sammanhang och förtjänar speciellt stor uppmärksamhet.

Oändliga processer

Vi använder här processer som aldrig terminerar "frivilligt", dvs de exekveras i oändlighet, endast avbrutna av realtidskärnan. Ett enkelt sätt att åstadkomma en sådan programkonstruktion är:

```
while(1)
{
     /* satser */
}
```

Eftersom villkoret i while-satsen alltid är uppfyllt (dvs skilt från 0) kommer iterationen aldrig att brytas och "satser" exekveras gång på gång, endast avbrutna av realtidskärnan för processbyten.

I `_rtk.h` har vi definierat makrot:

```
#define DO_FOREVER while(1)
```

En "oändlig" process kan då skrivas som:

```
#include <_rtk.h>
void infinity(void)
{
     DO_FOREVER
     {
          /* satser */
     }
}
```

Applikationen mom5.c

Även för denna applikation använder vi mycket enkla processer P1,P2 och P3. De definieras av följande:

```
void P1(void)
{
     DO_FOREVER
     {
          _outchar('1');
     }
}

void P2(void)
{
     DO_FOREVER
     {
          _outchar('2');
     }
}

void P3(void)
{
     DO_FOREVER
     {
          _outchar('3');
     }
}
```

Vi har alltså tre "oändliga" processer som aldrig (frivilligt) terminerar. För att åstadkomma enkel rättvisa fördelar vi processortiden lika mellan dessa, processbytet gör vi efter varje *timeslice*, dvs i vår avbrottshanterare:

```
void AtInterrupt(void)
{
     insert_last(Running, &ReadyQ);
     Running = remque(&ReadyQ);
}
```

Implementering och test

Läroboken ger ett utförligt förslag på hur huvudprogrammet i denna uppgift ska utformas.

- Skapa ett nytt projekt 'moment5' i workspace 'RTLAB'. Använd standardinställningarna som föreslås.
- Skapa en källtextfil `MOM5.C` med ett huvudprogram, avbrottshanterare och processer enligt. Lägg till denna fil till projektet. Använd värdet 100 för TIMESLICE.
- Testa programmet med *XCC12*'s debugger, använd simulatorn för att koppla 'Console' till seriekommunikationskretsen så att du kan se programmets utskrifter.

Vid laborationsplatsen

Tänk på att du ska ha med dina egna källtextfiler till laborationsplatsen. Du gör nu på samma sätt som under dina tidigare förberedelser (implementering och test) men laddar det färdiga programmet till laborationsdatorn i stället för debuggern.

Lägg till ytterligare en process 'P4' med samma beteende som P1,P2 och P3. Låt P4 skriva ut siffran 4.

Ändra konstanten `TIMESLICE`, tills du får ett fåtal (5-20) utskrifter mellan varje processbyte.

Får du alltid samma antal utskrifter från alla processer?

____

Uppskatta hur lång tid det tar att utföra en iteration (dvs skriva ut ett tecken) i P1.
Ledning: Bestäm längden av TIMESLICE (se moment 1) Varje process tilldelas en TIMESLICE åt gången.

Svar:_________________________________

Kontrollstation 5

6. Semaforoperationer

I föregående moment såg vi exempel på hur man kan implementera en parallell programmeringsmodell i ett time-sharing system. Genom att betrakta varje enskilt program som en process och låta en realtidskärna administrera dessa processer kan vi alltså, i princip, bygga upp ett fleranvändarsystem (*multi-user*) och/eller ett så kallat *multi-tasking* system. Om systemet består av ett antal oberoende processer blir implementeringen tämligen enkel, detta är dock praktiskt taget aldrig fallet i verkligheten. I själva verket finns det oftast mycket nära beroenden mellan de olika processerna i ett realtidssystem. Ofta består dessa beroenden av att globala data delas men det kan också finnas speciella tidsberoenden. För att klara av dessa beroenden måste processerna på något sätt *synkroniseras* med varandra.

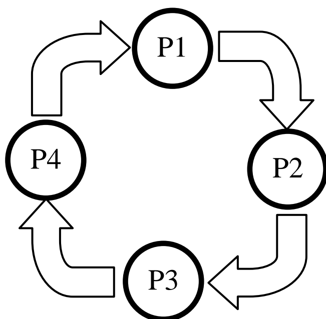
Processynkronisering i *RTK12* sker med hjälp av *semaforer*. Semaforerna är implementerande som *Blockerande/Kö* (se även läroboken). Maximala antalet semaforer ges av konstanten `MAX_SEM_ID` definierad i `_rtk.h`. Följande operationer kan utföras på en semafor:

```
void initsem(int id, int count);
```
Den första parametern är ett identifikationsnummer 1 t.o.m MAX_SEM_ID. Den andra parametern ger ett initialvärde till semaforvariabeln. Varje semafor initieras en gång av huvudprogrammet, detta sker mellan utförande av `InitKernel()` och `StartKernel()`.

```
void waitsem( int );
```
Parametern är ett identifikationsnummer 1-MAX_SEM_ID. Processen utför *wait* på den semafor som anges av parametern. (se även läroboken). Rutinen förutsätter att semaforen initierats av `initsem()`.

```
void signalsem( int );
```
Parametern är ett identifikationsnummer 1-MAX_SEM_ID. Processen *signalerar* på den semafor som anges av parametern. Rutinen förutsätter att semaforen initierats av `initsem()`.

Uppgift: Tidssynkronisering av processer



Uppgiften består i att konstruera en *händelsekedja* av synkroniserade processer. Processerna "P1", "P2", "P3" och "P4" från föregående moment ska exekveras *i denna ordning*. Detta ska upprepas i en oavslutad kedja.

Processerna ska modifieras så att de bara skriver ett tecken åt gången till skärmen.

Modifiera processerna i föregående moment så att utskriften från processerna ändras till `'1234123412341234...'` osv. Synkroniseringen ska ske med hjälp av semaforer.

Implementering och test

Läroboken ger ett utförligt förslag på hur huvudprogrammet i denna uppgift ska utformas.

- Skapa ett nytt projekt 'moment6a' i workspace 'RTLAB'. Använd standardinställningarna som föreslås.
- Skapa en källtextfil `MOM6A.C` med ett huvudprogram, avbrottshanterare och processer enligt. Lägg till denna fil till projektet. Använd värdet 100 för TIMESLICE.
- Testa programmet med *XCC12*'s debugger, använd simulatorn för att koppla 'Console' till seriekommunikationskretsen så att du kan se programmets utskrifter.

Vid laborationsplatsen

Tänk på att du ska ha med dina egna källtextfiler till laborationsplatsen. Du gör nu på samma sätt som under dina tidigare förberedelser (implementering och test) men laddar det färdiga programmet till laborationsdatorn i stället för debuggern.

Kontrollstation 6

I detta avsnitt skapar vi nya typer av applikationer för *RTK12*

Här illustreras meddelandeskickning.

Meddelanden

I detta avsnitt ska vi simulera en anslagstavla. Två processer *producer()* och *consumer()* är givna, se nedan. Producentprocessen sätter med jämna mellanrum upp ett meddelande bestående av ett ASCII-tecken (A-Z) på tavlan med hjälp av proceduren PutMessage(). Konsumentprocessen läser ett meddelande via proceduren GetMessage() som slänger meddelandet (samma meddelande får alltså inte läsas två gånger) och skriver meddelandet till bildskärmen. Procedurerna ska synkroniseras med hjälp av *en* semafor.

```
PROCESS    Producer(void)
{
int   i;
char  msg,j;
      j = 'A';
      DO_FOREVER
      {
            for(i=0;i<PRODUCER_DELAY;i++);
            PutMessage(j);
            if(j=='Z')
                  j = 'A';
            else
                  j = j+1;
      }
}

PROCESS    Consumer(void)
{
int   i;
char  msg;

      DO_FOREVER
      {
            GetMessage(&msg);
            _outchar(msg);
            for(i=0;i<CONSUMER_DELAY;i++);
      }
}
```

Definiera själv de olika konstanterna `PRODUCER_DELAY` och `CONSUMER_DELAY`.

Uppgift 1- Moment 6B

- Skriv procedurerna GetMessage() och PutMessage() enligt specifikationen ovan.
- Skriv ett huvudprogram med processerna *Producer/Consumer*.
- Sätt konstanten TIMESLICE så att *RTK12* byter process 10 ggr/sekund.

Betrakta resultatet av programkörningen. "Konsumeras" alla tecken som "produceras?

Du kan öka takten hos producentprocessen genom att variera längden hos "busy-wait"-slingan. Låt producentprocessen producera tecken dubbelt så fort som konsumentprocessen konsumerar dom.

Beskriv iakttagelser:

____

____

____

Skapa ytterligare en producentprocess *producer2()* som producerar ASCII-tecknen 'a-z' och också använder PutMessage(). Provkör programmet och beskriv kortfattat dina iakttagelser:

____

____

____

____

____

Uppgift 2 - Moment 6C

Avslutningsvis ska du nu modifiera GetMessage() och PutMessage() så att inga meddelanden går förlorade eller läses flera gånger.
Ledning: Använd en lösning med *två* semaforer.

Kontrollstation 7

7. Processynkronisering

Efter ett antal moment som syftat till att du ska göra dig bekant med en realtidskärna och få en uppfattning om vad den kan användas till är det nu dags för dig att lösa en smärre uppgift.

Dörrautomaten (*MC12/ML13* med programvara) ska nu implementeras under realtidskärnan *RTK12*.

- Dörren ska kunna ”låsas” genom att en tangent ’l’ (lock) trycks ned på tangentbordet. Låsning kan endast ske samtidigt som dörren är helt öppen. Om dörren är låst ska den kunna ”låsas upp” genom att en tangent ’u’ (unlock) trycks ned på tangentbordet.

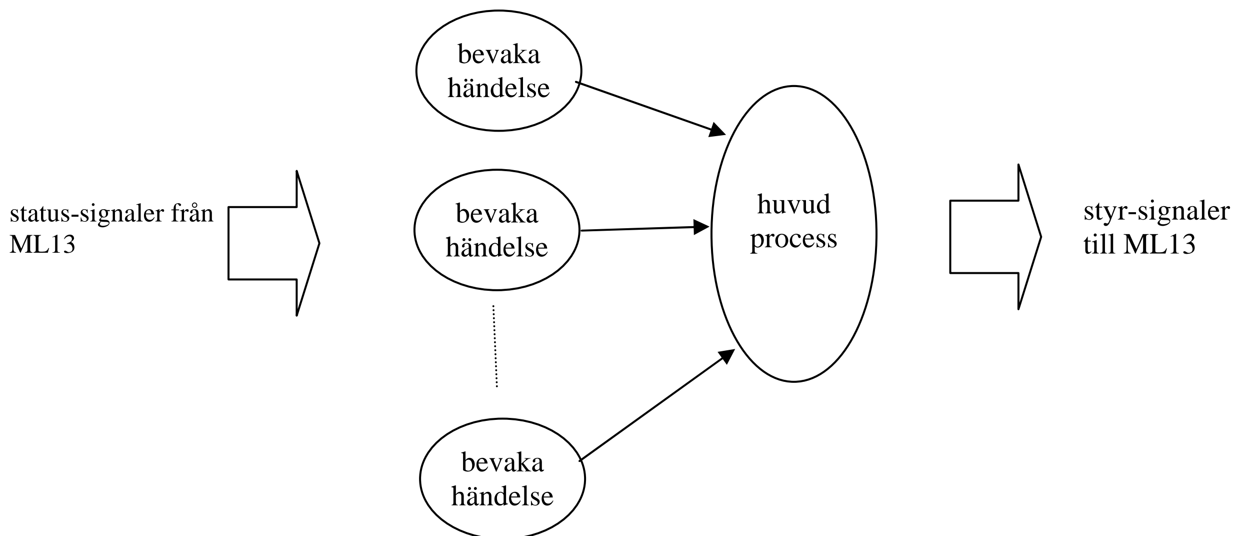
- Med en ”låst” dörr menas att den inte kan öppnas genom att någon av tryckknapparna på *ML13* trycks ned.

- Dörren ska vara låst från början.

Du kommer att finna en rad förslag på hur du kan lösa uppgiften. Du är dock inte bunden att, i detalj, följa dessa anvisningar, dock måste ”exekveringsmodellen” (se nedan) efterliknas.

Exekveringsmodell

Följande figur beskriver systemets processer:



I centrum har vi en huvudprocess som ger alla styrsignaler till dörren. Processen kan synkroniseras med de processer som tar emot statusignaler från dörren, lämpligtvis med hjälp av semaforer. Följande pseudo-kod anger en tänkbar lösning:

```
PROCESS manage_door()
      message to tty ”Press ’u’ to unlock door”
      wait for ’u’ from tty
      message to tty ”Door unlocked”
begin do forever:
      enable ”open_door_event”
      wait for ”open-door-signal”
      open the door;
      enable ”door_opened_event”
      wait for ”door-opened-signal”
      wait for 5 seconds
      close the door
      if ’l’ from tty begin
            enable ”close_door_event”
            message to tty ”Door closing”
            wait for ”door-closed-signal”
            wait for ’u’ from tty
            message to tty ”Door unlocked”
      end
end
```

Observera speciellt hur semaforer kan användas för ”enable-events”.

Exekveringsmodellen visar hur vi har ett antal processer som bevakar de olika händelser som kan inträffa:

- ”öppna dörr”
- ”dörren är helt öppen”
- ”dörren är helt stängd”

En sådan process kan utformas exempelvis enligt:

`PROCESS open_door_event:`

```
begin do forever:
      wait for event monitoring enabled;
      begin do forever
            if (open the door )
                  signal (open_the_door_sem)
                  break inner loop
            else
                  abandon cpu
      end
end
```

Funktionen ”yield”

Observera speciellt ”abandon cpu”, dvs processen överlåter resten av sin TIMESLICE till någon annan körbar process. En sådan funktion kallas traditionellt ”yield”. I *RTK12* finns ingen sådan funktion, du måste skriva den själv. Funktionen yield måste:

- Spara processens flyktiga omgivning
- Placera processen sist i Ready-kön
- Starta nästa process i Ready-kön.

Ledning:
Studera källtexterna för de färdiga funktionerna 'waitsem', 'insert_last', 'suspend' och 'dispatch' i *RTK12*.

Funktionen ”sleep”

För att åstadkomma en bestämd fördröjning konstrueras funktionen 'sleep', som alltså blir ytterligare en generell del av realtidskärnan. En process ska kunna suspendera sig för ett bestämt tidsintervall genom att anropa funktionen enligt:

```
....
sleep( intervall *100 ms );
...
```

Följande exempel visar en enkel implementering av ”sleep”-funktionen

```
void    sleep(int delay)
{
int     wakeup;
        /* sleep for delay * TIMESLICE */
        wakeup = get_rtk_time() + delay;

        while(1){
                if( wakeup > get_rtk_time() )
                        yield();        /* not yet... */
                else
                        return;
        }
}
```

Anropssekvensen för funktionen ’sleep’ blir:

```
...
            sleep (50);          /* 5 sec. delay */
```

Funktionen ”get_system_time” (finns i *RTK12*) returnerar aktuell systemtid. (Läs om denna i *XCC12*'s hjälpsystem).

Implementering och test

Uppgiften är omfattande. Börja med att implementera och testa 'yield' och 'sleep'.

- Skapa ett nytt projekt 'moment7' i workspace 'RTLAB'. Använd standardinställningarna som föreslås.
- Skapa en källtextfil `MOM7.C` med ett huvudprogram, avbrottshanterare, processer och funktionerna yield/sleep enligt ovan. Lägg till denna fil till projektet.
- Testa programmet med *XCC12*'s debugger, använd simulatorn för att koppla 'Console' till seriekommunikationskretsen så att du kan se programmets utskrifter. Koppla även *ML13* på samma sätt som tidigare.
- Tänk på att simulatorns *ML13* normalt genererar en rad olika typer av avbrott. Du måste stänga av dessa i denna applikation.

Vid laborationsplatsen

Tänk på att du ska ha med dina egna källtextfiler till laborationsplatsen. Du gör nu på samma sätt som under dina tidigare förberedelser (implementering och test) men laddar det färdiga programmet till laborationsdatorn i stället för debuggern.

Ladda ned och testa din realtidsapplikation. I detta fall ska du *inte* ansluta avbrottsutgången på *ML13* till *MC11*.

Kontrollstation 8