# Maskinorienterad programmering

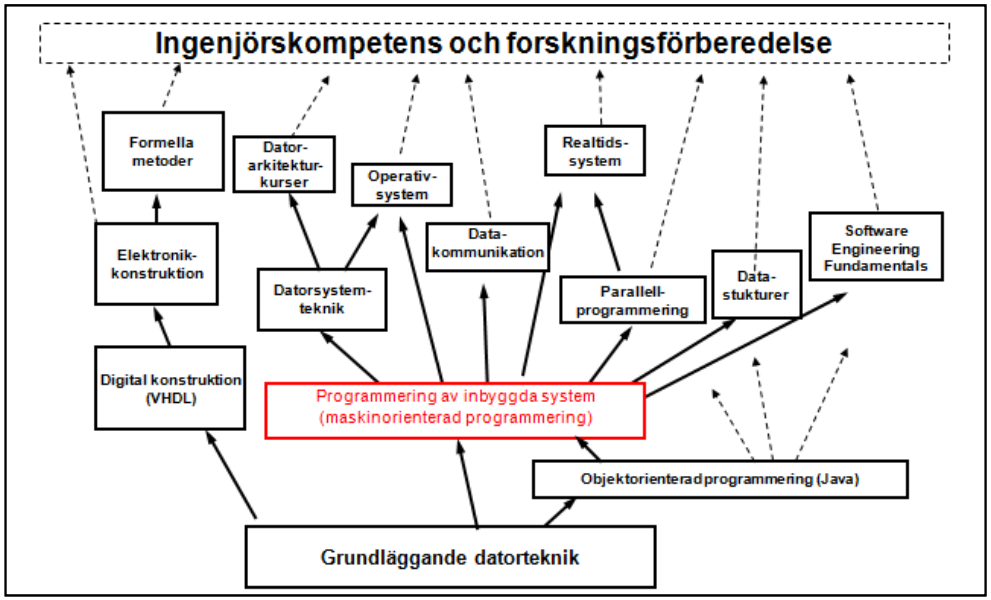
## Sammanfattning

Ur innehållet:

- Vi rekapitulerar kursens syften
- Vi repeterar kursens ”lärandemål”
- Vi belyser hur den skriftliga delen av examinationen genomförs.

# 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.



# 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.*

## *Funktioners parametrar och returvärden.*

### Permanenta och tillfälliga variabler

*Exempel:*

```
char  gc;

void  sub( void )
{
  char   lc;
  lc = 5;
}
```

```
        .comm gc,1,1
sub:
        PUSH  {R7,LR}
        SUB   SP,SP,#8
        MOV   R7,SP
        ADD   R3,R7,#7   @ R3 = &lc
        MOV   R2,#5
        STRB  R2,[R3]
        MOV   SP,R7
        ADD   SP,SP,#8
        POP   {R7,PC}
```

I stället för "registerallokering" av `lc` kan man reservera en position på stacken:
I subrutinen refereras här då variabeln `lc` som `[r7,#7]`.

### Parameteröverföring till, och returvärden från subrutiner

*Parametrar, två metoder kombineras*
- Via register: snabbt, effektivt och enkelt, begränsat antal
- Via stacken: generellt

*Returvärden*
- Via register: för enkla datatyper som ryms i processorns register `R0` och ev. `R1`
- Via stacken: sammansatta datatyper (poster och fält)

| Register | Användning | |
|---|---|---|
| R15 (PC) | Programräknare | |
| R14 (LR) | Länkregister | |
| R13 (SP) | Stackpekare | |
| R12 (IP) | | |
| R11 | Dessa register är avsedda för variabler och som temporära register. | |
| R10 | Om dom används måste dom sparas och återställas av | |
| R9 | den anropade (callee) funktionen | |
| R8 | | |
| R7 | Speciellt använder GCC R7 som pekare till aktiveringspost (*stack frame*) | |
| R6 | Också dessa register är avsedda för variabler och temporärbruk | |
| R5 | Om dom används måste dom sparas och återställas av | |
| R4 | den anropade (callee) funktionen | |
| R3 | parameter 4 / temporärregister | Dessa register sparas normalt sett |
| R2 | parameter 3 / temporärregister | inte över funktionsanrop men om, |
| R1 | parameter 2 / resultat 2 /temporärregister | så är det den anropande (caller) |
| R0 | parameter 1 / resultat 1/ temporärregister | funktionens uppgift |

Detaljerna styrs av konventioner ”application binary interface” (ABI) ”Procedure call standard”

## *Lagrings-klasser och synlighet.*

### Extern

Poäng: Om ni kodar ett större program för lab5 så vill ni nog inte ha alla globala objekt/ variabler deklarerade i main-filen. Då måste ni använda extern.

`extern` i C säger att symbolen kommer från en annan fil.

```
// main.c
#include "fractalmountain.h"
…

POBJECT objects[] = {&player, &fmountain};
unsigned int nObjects = 2;

void main()
{
  …
}
```

```
// fractalmountain.h
#ifndef FRACTALMOUNTAIN_H
#define FRACTALMOUNTAIN_H

#include "object.h"
#include "types.h"

void someFunc1();
void someFunc2();
extern OBJECT fmountain;

#endif //FRACTALMOUNTAIN_H
```

```
// fractalmountain.c
#include "fractalmountain.h"

OBJECT fmountain = {
  0,          // geometri - ingen
  0,0,        // riktningsvektor
  0,0,        // initial startposition
  drawMountain, // draw method
  0,          // clear_object - unused
  moveMountain, // move method
  set_object_speed // set-speed method
};
```

extern = declare without defining
Utan extern skulle vi skapa en **ny** variabel.

### Lagringsklasser och synlighet

Variabler med permanent adress i minnet:

```
int gi;     /* global synlighet */

static int si;    /* synlig i denna källtext */

void sub(void)    {
    static int si; /* synlig i funktionen sub */
}
```

I assemblerspråk:

```
            .GLOBL    gi
gi:         .SPACE    4
.si:        .SPACE    4
.sub_si:    .SPACE    4
```

alternativt sätt för global variabel:

```
            .comm gi,4,4
(.comm sym,length,alignment)
```

Symboler med begränsad synlighet tilldelas *unika* namn av kompilatorn.
Sådana kompilatorgenererade symbolnamn dyker ofta upp med inledande '.' i assemberkälltexten.
Samma C-symboler kan därför användas i olika sammanhang utan konflikt

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

## Registeranvändning

I princip kan man använda de generella registren som man vill men det är mycket bättre att följa ARM's rekommendationer:

| Register | Användning | |
|---|---|---|
| R15 (PC) | Programräknare | |
| R14 (LR) | Länkregister | |
| R13 (SP) | Stackpekare | |
| R12 (IP) | | |
| R11 | Dessa register är avsedda för variabler och som temporära register. | |
| R10 | Om dom används måste dom sparas och återställas av | |
| R9 | den anropade (*callee*) funktionen | |
| R8 | | |
| R7 | Speciellt använder GCC R7 som pekare till aktiveringspost (*stack frame*) | |
| R6 | Också dessa register är avsedda för variabler och temporärbruk | |
| R5 | Om dom används måste dom sparas och återställas av | |
| R4 | den anropade (*callee*) funktionen | |
| R3 | parameter 4 / temporärregister | Dessa register sparas normalt sett |
| R2 | parameter 3 / temporärregister | inte över funktionsanrop men om, |
| R1 | parameter 2 / resultat 2 /temporärregister | så är det den anropande (*caller*) |
| R0 | parameter 1 / resultat 1/ temporärregister | funktionens uppgift |

## Returvärden via register

| Storlek | C-typ | Register |
|---|---|---|
| 8-32 bitar | char/short/int | R0 |
| 64 bitar | long long | R1:R0 |

## Returvärden via stack

Krävs typiskt då en subrutin ska returnera en komplett post, eller ett helt fält. Den anropande funktionen ska då först reservera utrymme för returvärdet. En pekare till detta utrymme läggs sedan som första parameter vid anropet:

## Funktionsparametrar

Konventionerna sägar att vi använder register R0,R1,R2,R3, (i denna ordning) för parametrar som skickas till en subrutin. Övriga parametrar läggs på stacken (behandlas senare i kursen).

***Exempel***:
Följande deklarationer är gjorda:

```
int     a,b,c,d;
```

Visa hur följande funktionsanrop kodas i assemblerspråk:

```
sub(a,b,c,d);
```

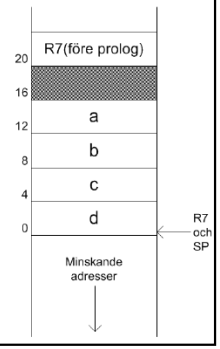
***Assembler***:

```
LDR R0,a
LDR R1,b
LDR R2,c
LDR R3,d
BL  sub
```

## Tänkbar komplikation: "Registerspill"

Dvs. register behövs i den anropade subrutinen.
Lösning: Skapa "tillfälliga variabler" – använd stacken för temporär lagring

```
sub:
@ parametrar finns i register,
@ spara dessa på stacken
        push    {r7}
        sub     sp,sp,#20
        add     r7,sp,#0
        str     r0,[r7,#12]
        str     r1,[r7,#8]
        str     r2,[r7,#4]
        str     r3,[r7]
        ...
```

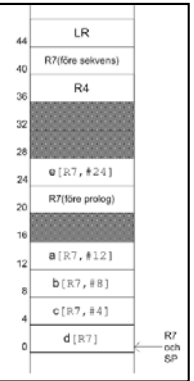



## Stackens utseende i `sub` "aktiveringspost"

Funktionen:

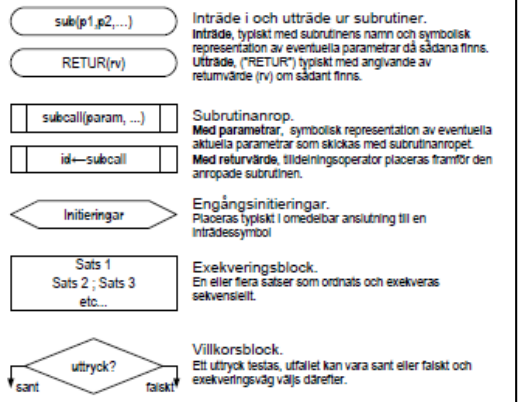
```
void sub(int a,int b,int c,int d,int e);
```

Aktiveringsposten kan sedan utvidgas ytterligare med lokala variabler.



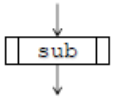
- *beskriva och använda olika kontrollstrukturer.*

## Flödesdiagram för programstrukturer




## Subrutiner (”funktioner”)

| C-operator | Betydelse | Operation | Instruktion | RTN |
|---|---|---|---|---|
| `f()` | funktionsanrop | Branch and link | `BL <label>` | `LR←PC, PC←label` |
| `"return"` | | Branch and exchange | `BX Rx` | `PC←Rx` |




```
C:
...
   sub ();
...
```

***EXEMPEL:***

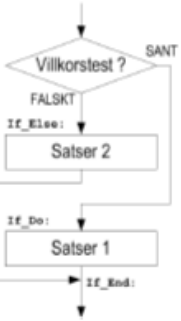
```
   BL    sub
@ returadress -> LR
   ...

sub:
   ...
   BX    LR
```

Returadressen sparas i register. Snabbt, men klarar ej rekursion

## Kontrollstrukturer

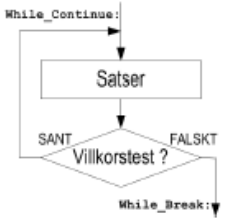
```
if( villkor )
{
   Satser
}
```


```
if( villkor ){
   Satser1
}else{
   Satser2
}
```




```
while( villkor )
{
   Satser
}
```


```
do{
   Satser
} while( villkor );
```




## Instruktioner för villkorlig programflödeskontroll

| C-operator | Betydelse | Datatyp | Instruktion |
|---|---|---|---|
| == | Lika med | signed/unsigned | BEQ |
| != | Skild från | signed/unsigned | BNE |
| < | Mindre än | signed | BLT |
| | | unsigned | BCC |
| <= | Mindre än eller lika | signed | BLE |
| | | unsigned | BLS |
| > | Större än | signed | BGT |
| | | unsigned | BHI |
| >= | Större än eller lika | signed | BGE |
| | | unsigned | BCS |

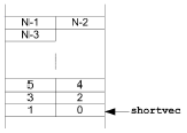
- *beskriva och använda sammansatta datatyper (fält och poster) och enkla datatyper (naturliga tal, heltal och flyttal).*

## Ordlängder och heltalstyper, ANSI C

| Typ | Förklaring |
|---|---|
| `char` | Minsta adresserbara enhet som kan rymma en basal teckenuppsättning. Det är dock en heltalstyp som kan vara signed eller unsigned, detta är implementationsberoende. |
| `signed char` | Tolkas som heltal med tecken. Måste **minst** kunna representera talområdet [−127, +127], dvs. minst 8 bitar. |
| `unsigned char` | Tolkas som heltal utan tecken. Måste **minst** kunna representera talområdet [0, 255], dvs. minst 8 bitar. |
| `short`<br>`short int`<br>`signed short`<br>`signed short int` | Kort heltalstyp med tecken. Måste **minst** kunna representera talområdet [−32767, +32767], dvs. minst 16 bitar. Observera att talområdet [−32768, +32767] som fås vid 2-komplementsrepresentation, också är tillåtet. |
| `unsigned short`<br>`unsigned short int` | Kort heltalstyp utan tecken. Måste **minst** kunna representera talområdet [0, +65535], dvs. minst 16 bitar. |
| `long`<br>`long int`<br>`signed long`<br>`signed long int` | Lång heltalstyp med tecken. Måste **minst** kunna representera talområdet [−2147483647, +2147483647], dvs. minst 32 bitar. |
| `unsigned long`<br>`unsigned long int` | Lång heltalstyp utan tecken. Måste **minst** kunna representera talområdet [0, +4294967295], dvs. minst 16 bitar. |
| `int`<br>`signed`<br>`signed int` | Implementationsbestämd heltalstyp med tecken. Måste **minst** kunna representera talområdet [−32767, +32767], dvs. minst 16 bitar. Observera att talområdet [−32768, +32767] som fås vid 2-komplementsrepresentation, också är tillåtet.<br>Observera speciellt att `int` kan vara synonym med `short` eller `long`. |
| `unsigned`<br>`unsigned int` | Typen `int` utan tecken. |

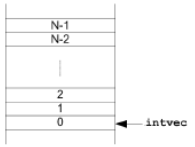
## Fält – ”vektorer” – N element, indexeras 0..N-1

```
char  charvec[N];
sizeof (charvec) =
N bytes
```


```
short  shortvec[N];
sizeof(shortvec)=
N*2 bytes
```

```
int    intvec[N];
sizeof (intvec) =
N*4 bytes
```




***EXEMPEL***: Vi har deklarationerna:

```
int   i,j, *ip, ivec[20];
```

Koda följande tilldelningar i assemblerspråk

```
a) i = ivec[j];
b) ip = &ivec[j];
```

*Vi löser på tavlan...*

| | | | |
|---|---|---|---|
| .. with register index | [Rx,Ri] | LDR R0,[R1,R2] | R0←M(R1+R2) |
| .. with scaled index | [Rx,Ri,shift] | LDR R0,[R1,R2,LSL #2] | R0←M(R1+(R2<<2)) |

## Typer för pekare, ARM-M4

```
char  *cptr;      /* pekar på 8-bitars datatyp */
short *sptr;      /* pekar på 16-bitars datatyp */
int   *iptr;      /* pekar på 32-bitars datatyp */
```

Adressutrymmet är 32 bitar
PC, SP och ALLA pekartyper är 32 bitar

***EXEMPEL***:

```
cptr = ( char  *) 0x40021010
sptr = ( short *) 0x40021010
iptr = ( int   *) 0x40021010
```

*Vad är skillnaden?*

## Structs (sammansatta datatyper)

I uppgift 39:

```
typedef struct tPoint{
   unsigned char x;
   unsigned char y;
} POINT;

#define MAX_POINTS 20

typedef struct tGeometry{
   int numpoints;
   int sizex;
   int sizey;
   POINT px[ MAX_POINTS ];
} GEOMETRY, *PGEOMETRY;
```

Skapa och initiera en variabel av typen GEOMETRY:

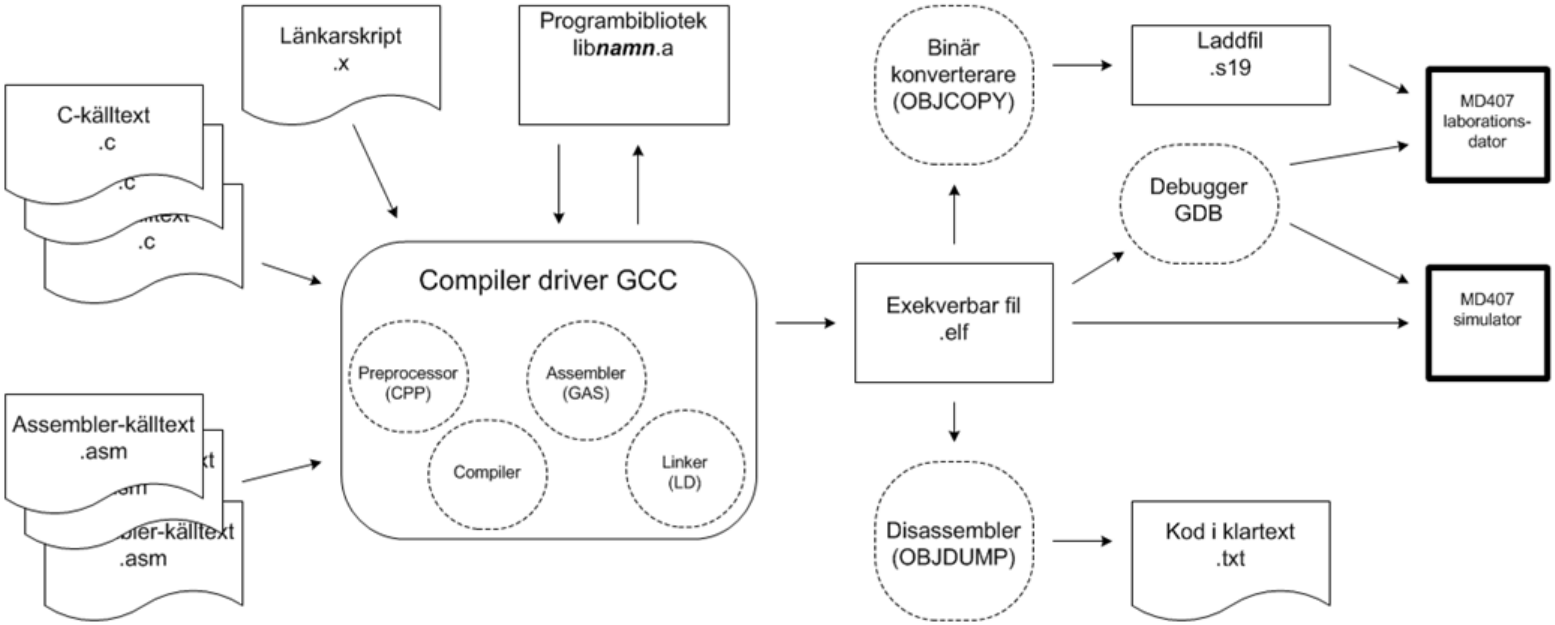
```
GEOMETRY ball_geometry = {
    12, 4, 4,
    { //  POINT px[20]
          {0,1}, // px[...]
          {0,2},
          {1,0},
          {1,1},
          {1,2},
          {1,3},
          {2,0},
          {2,1},
          {2,2},
          {2,3},
          {3,1},
          {3,2} // Här utnyttjar vi ofullständig
    }           // initiering (12 av 20)
};
```

# 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.*




## Preprocessor directives - #if, #ifdef, #ifndef

Preprocessor conditional inclusion

```
#define X  1        // syntax: #define [identifier name] [value], där [value] är optional

#if X == 0          // syntax: #if <value>, där 0=false och !0==true
    …       // any C-code
#elif X-1 == 1      // betyder else if
    …
#else
    …
#endif

#if 0     // bra för att temporärt kommentera bort stora block av kod.
 … // any C-code
#endif

#define HW_DEBUG
…
#ifdef HW_DEBUG
    … // any C-code, t ex:
    #undef SIMULATOR
#endif
```

```
void delay_500ns(void)
{
#ifndef SIMULATOR
        delay_250ns();
        delay_250ns();
#endif
}
```

## Include guards

```
// main.c
#include "player.h"
#include "enemies.h"

void main()
{
  …
}
```

c-fil

```
// vecmath.h
#ifndef VECMATH_H
#define VECMATH_H

typedef struct {
   union {
      int v[2];
      struct {int x, y;};
   };
} Vec2i;

Vec2i add2i(Vec2i a, Vec2i b);

char isEqual(Vec2i a, Vec2i b);

#endif //VECMATH_H
```

```
// player.h
#ifndef PLAYER_H
#define PLAYER_H

#include "vecmath.h"

void movePlayer(Vec2i v);

#endif //PLAYER_H
```

```
// enemies.h
#ifndef ENEMIES_H
#define ENEMIES_H

#include "vecmath.h"

void moveEnemy(int i,
               Vec2i v);

#endif //ENEMIES_H
```

Vi bör ha include-guards på alla .h-filer – även om det i detta exemplet inte behövs för player.h samt enemies.h

Utan include guards så inkluderas vecmath.h två gånger för main.c. Andra gången kommer kompilatorn klaga på att `Vec2i` redan är definierad.

.c-filer kompileras var för sig. Preprocessorn och kompilatorn exekveras individuellt per .c-fil.

## Programstruktur

```
// main.c
#include <stdio.h>
#include "foo.h"

int main()
{
    printf("x is %i", foo(0));
    return 0;
}
```

**c-fil**
Inkluderar header-fil

```
// foo.h
int foo(int x);
```

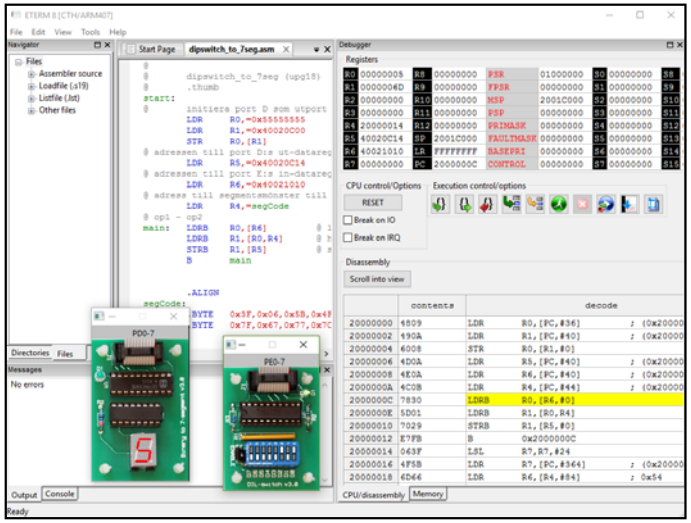
**header-fil**
Innehåller funktionsprototyper

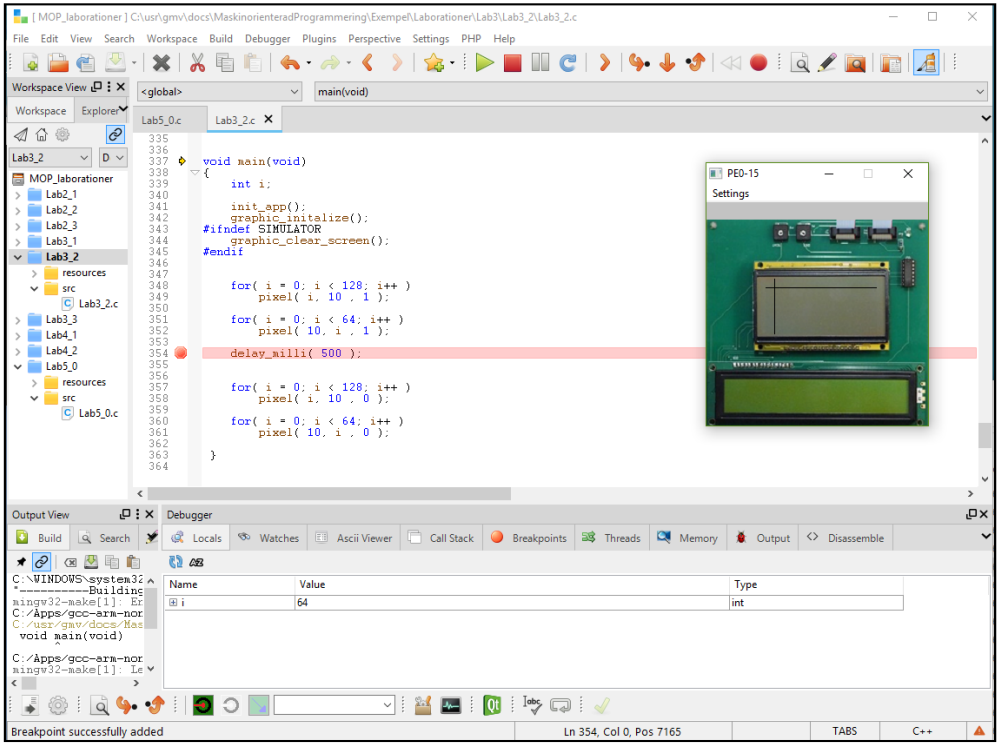
```
// foo.c
#include <stdlib.h>

int foo(int x)
{
    if( x == 0 ){
        int x = 4;
        return x;
    }

    return x;
}
```

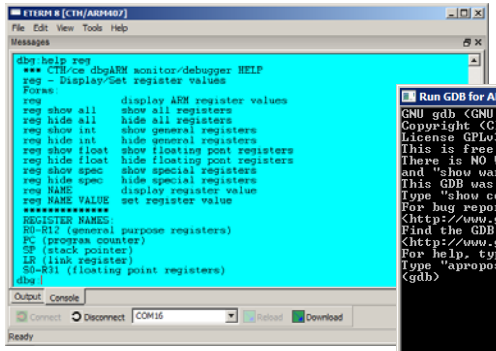
**c-fil**

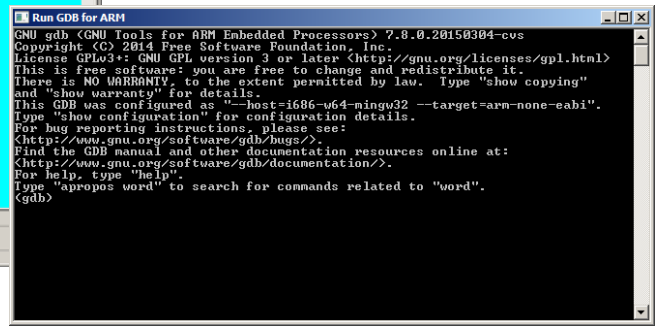
header-filen måste inte ha samma namn som c-filen, men det är enklare så.

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






*Dessa lärandemål har vi kontrollerat under laborationer.*

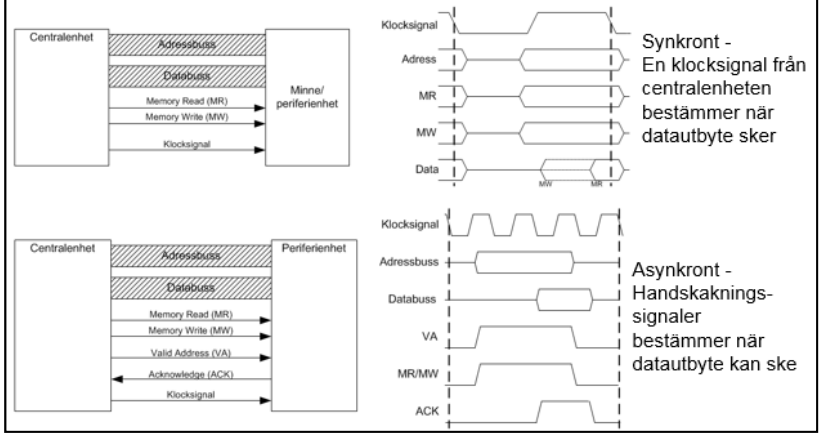
# 3. Systemprogrammerarens bild

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.

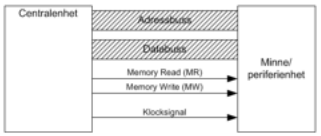
- *beskriva och tillämpa olika principer för överföring mellan centralenhet och kringenheter så som: ovillkorlig eller villkorlig överföring, statustest och rundfrågning.*

## Synkrona och asynkrona gränssnitt




## Ovillkorlig överföring

Kräver samtidighet "synkron" - en speciell signal, "Enable", används då för att ange exakt när datautbyte ska ske.



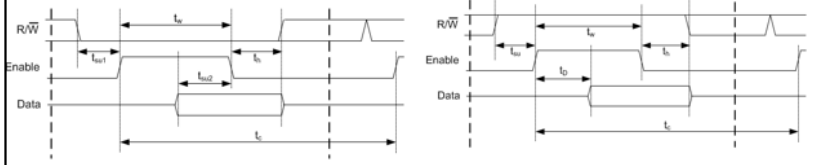


Flankerna definierar samtidigheten.
Signalen kallas ofta "klocksignal".

## Tidsdiagram - underlag för synkronisering

Skrivcykel - data överförs från CPU till periferienhet

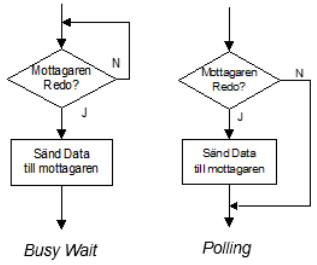
Läscykel - data överförs från periferienhet till CPU

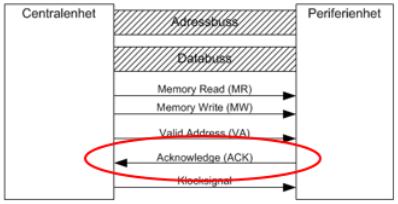



| | | min |
|---|---|---|
| $t_c$ | cykel tid | min |
| $t_w$ | klockpuls ("Enable") varaktighet (hög och låg) | min |
| $t_{su1}$ | styrsignalernas setup-tid, före positiv E-flank | min |
| $t_{su2}$ | setup-tid för data, skrivning, före negativ E-flank | min |
| $t_D$ | setup-tid för data, läsning, före negativ E-flank | max |
| $t_h$ | hold-tid, varaktighet (efter negativ E-flank) | min |

## Villkorlig överföring

Periferienheten har ett register med en statusbit som anger om data finns eller ej.




Förutsätter inte samtidighet men kräver speciella "handskakningssignaler".
Ett sådant gränssnitt kallar vi därför "asynkront".

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

## Vektortabellen

Anger position för de olika undantagsvektorerna.

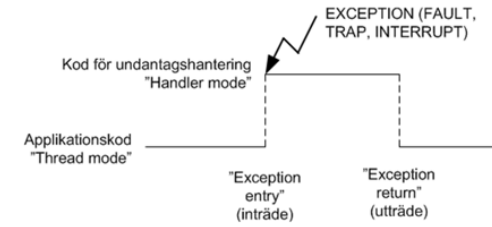
De 16 första positionerna är samma för alla Cortex-M4.

Resten av tabellen är specifik för den aktuella microcontrollern.

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | . | . | . | Reserverad stack | 0x0000 0000 |
| | -3 | fixed | Reset | Reset | 0x0000 0004 |
| | -2 | fixed | NMI | Non maskable interrupt. The RCC Clock Security System (CSS) is inked to the NMI vector. | 0x0000 0008 |
| | -1 | fixed | HardFault | All class of fault | 0x0000 000C |
| | 0 | settable | MemManage | Memory management | 0x0000 0010 |
| | 1 | settable | BusFault | Pre-fetch fault, memory access fault | 0x0000 0014 |
| | 2 | settable | UsageFault | Undefined instruction or illegal state | 0x0000 0018 |
| | . | . | . | Reserved | 0x0000 001C - 0x0000 002B |
| | 3 | settable | SVCall | System service call via SWI instruction | 0x0000 002C |
| | 4 | settable | Debug Monitor | Debug Monitor | 0x0000 0030 |
| | - | - | - | Reserved | 0x0000 0034 |
| | 5 | settable | PendSV | Pendable request for system service | 0x0000 0038 |
| | 6 | settable | SysTick | System tick timer | 0x0000 003C |
| 0 | 7 | settable | WWDG | Window Watchdog interrupt | 0x0000 0040 |
| 1 | 8 | settable | PVD | PVD through EXTI line detection interrupt | 0x0000 0044 |
| 2 | 9 | settable | TAMP_STAMP | Tamper and TimeStamp interrupts through the EXTI line | 0x0000 0048 |
| 3 | 10 | settable | RTC_WKUP | RTC Wakeup interrupt through the EXTI line | 0x0000 004C |
| 4 | 11 | settable | FLASH | Flash global interrupt | 0x0000 0050 |
| 5 | 12 | settable | RCC | RCC global interrupt | 0x0000 0054 |
| 6 | 13 | settable | EXTI0 | EXTI Line0 interrupt | 0x0000 0058 |
| 7 | 14 | settable | EXTI1 | EXTI Line1 interrupt | 0x0000 005C |
| 8 | 15 | settable | EXTI2 | EXTI Line2 interrupt | 0x0000 0060 |
| 9 | 16 | settable | EXTI3 | EXTI Line3 interrupt | 0x0000 0064 |
| 10 | 17 | settable | EXTI4 | EXTI Line4 interrupt | 0x0000 0068 |
| ... | | | | | |
| ... | | | | | |
| ... | | | | | |
| 81 | 88 | | FPU | FPU global interrupt | 0x0000 0184 |

## Undantagshantering - detaljerna

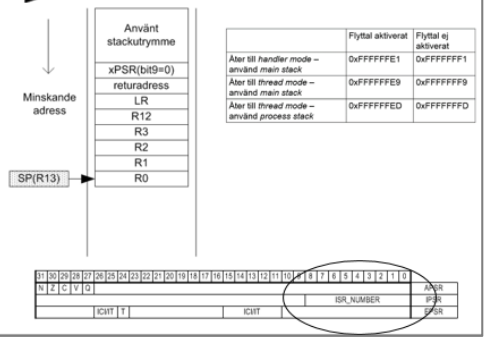
"Inträdet" hanteras automatiskt av processor.
"Utträdet" initieras och handhas av programvaran (undantagsrutinen)



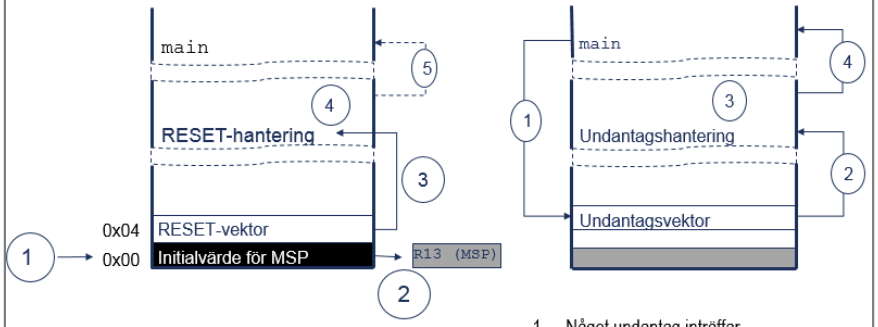

***Utträde***:
Återställ PC från LR. Det speciella EXC_RETURN värdet som då hamnar i PC avkodas.
Registerinnehåll återställlls då från stacken varvid PC får rätt återhoppsadress.

***Inträde***:
**Spara aktuell processorstatus**, dvs.
- Spara registerinnehåll på stacken
- Sätt nytt speciellt innehåll i LR (EXC_RETURN) baserat på processorstatus

**Ändra processorstatus för undantagshantering**
- Sätt undantagsnummer i PSR
- Placera undantagsvektor i PC




## Exekvering vid undantag

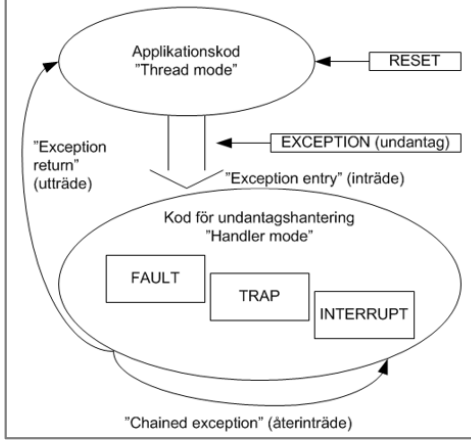



1. Återstart (Reset aktiverad)
2. Ladda MSP (Main Stack Pointer) från adress 0x00
3. Ladda RESET-vector från adress 0x04
4. RESET-hantering exekveras i "Thread mode"
5. Systemets huvudprogram startas

1. Något undantag inträffar
   - Pågående instruktion utförs klart
   - Vektortabellen adresseras
2. Den specifika undantagsvektorn hämtas
3. Undantagshantering i "Handler Mode"
4. Återgång efter undantagshantering

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

## Undantagshantering - "exception"

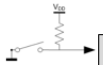



Med "undantag" menar vi här en rad olika typer av händelser:

- RESET (*återstart*):
  - *power on* (kallstart )
  - *warm reset* (varmstart
- FAULT:
  - Exekveringsfel – kan inte fortsätta
- TRAP:
  - Programmerat avbrott, initierat av maskininstruktion
- INTERRUPT:
  - Hårdvarusignalerat avbrott

## Undantagstyper

De olika undantagstyperna har en naturlig, fallande prioritet



RESET:
- power on (kallstart)
- warm reset (varmstart)

NMI:
Non Maskable Interrupt

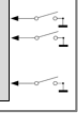
FAULT:
- Hard fault
  *generellt fel*
- Memory management fault
  *fel användning av minne*
- Bus fault
  *exvis obefintligt minne*
- Usage fault
  *exvis "unaligned"*

TRAP:
- SVC- instruktion
- BPKT-instruktion
- ...

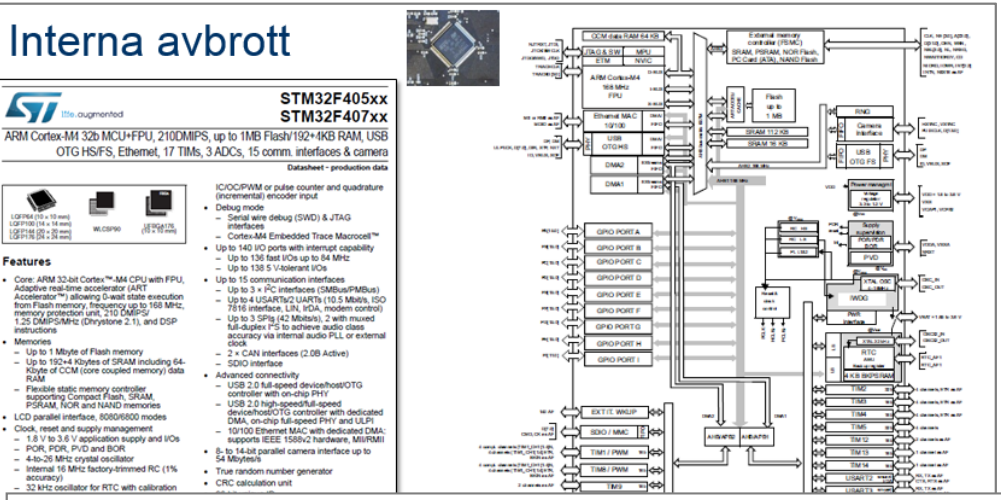
INTERRUPT:

INTERNA:
- SysTick
- Watchdog
- Periferikretsar
  .....

EXTERNA:
- IO-pinnar kan konfigureras som avbrottsingångar
- EXTI (External Interrupt) modul



## Interna avbrott

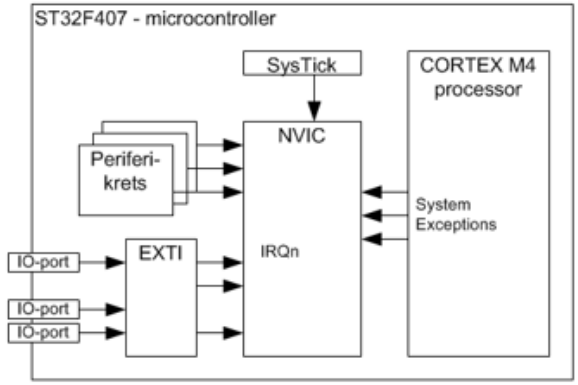



## Externa avbrott

Externa avbrott är en form av undantag.

Registerinnehåll (xPSR, PC, LR, R12, R3-R0) sparas och återställs automatiskt av processorn

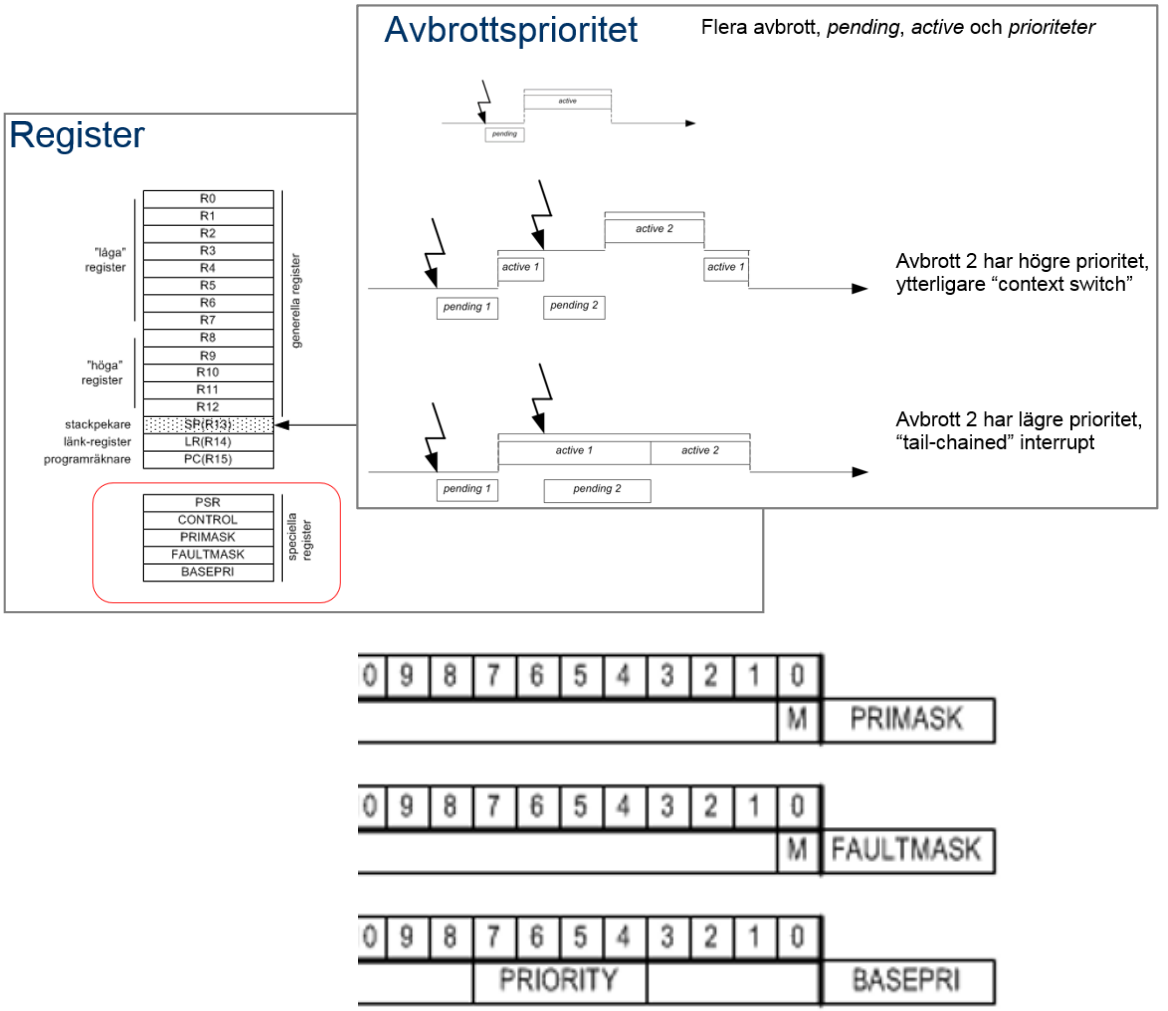
Avbrottshanterare kan skrivas uteslutande med 'C'-kod.




| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 6 | settable | SysTick | System tick timer |
| 0 | 7 | settable | WWDG | Window Watchdog interrupt |
| 1 | 8 | settable | PVD | PVD through EXTI line detection interrupt |
| 2 | 9 | settable | TAMP_STAMP | Tamper and TimeStamp interrupts through the EXTI line |
| 3 | 10 | settable | RTC_WKUP | RTC Wakeup interrupt through the EXTI line |
| 4 | 11 | settable | FLASH | Flash global interrupt |
| 5 | 12 | settable | RCC | RCC global interrupt |
| 6 | 13 | settable | EXTI0 | EXTI Line0 interrupt |
| 7 | 14 | settable | EXTI1 | EXTI Line1 interrupt |
| 8 | 15 | settable | EXTI2 | EXTI Line2 interrupt |
| 9 | 16 | settable | EXTI3 | EXTI Line3 interrupt |
| 10 | 17 | settable | EXTI4 | EXTI Line4 interrupt |
| 11 | 18 | settable | DMA1_Stream0 | DMA1 Stream0 global interrupt |
| 12 | 19 | settable | DMA1_Stream1 | DMA1 Stream1 global interrupt |

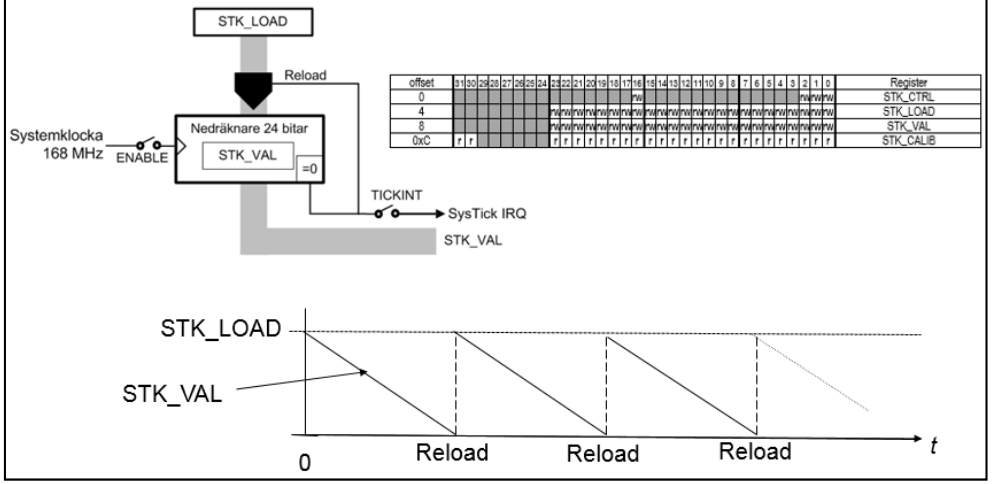
- *beskriva och tillämpa olika metoder för prioritetshantering vid multipla avbrottskällor (mjukvarubaserad och hårdvarubaserad prioritering, avbrottsmaskering, icke-maskerbara avbrott).*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | . | . | . | Reserverad stack |
| | -3 | fixed | Reset | Reset |
| | -2 | fixed | NMI | Non maskable interru<br>Clock Security Syste<br>to the NMI vector. |
| | -1 | fixed | HardFault | All class of fault |
| | 0 | settable | MemManage | Memory managemen |
| | 1 | settable | BusFault | Pre-fetch fault, memc |
| | 2 | settable | UsageFault | Undefined instruction |
| | . | . | . | Reserved |
| | 3 | settable | SVCall | System service call v<br>instruction |
| | 4 | settable | Debug Monitor | Debug Monitor |
| | - | - | - | Reserved |
| | 5 | settable | PendSV | Pendable request for |
| | 6 | settable | SysTick | System tick timer |
| 0 | 7 | settable | WWDG | Window Watchdog in |
| 1 | 8 | settable | PVD | PVD through EXTI lin<br>interrupt |
| 2 | 9 | settable | TAMP_STAMP | Tamper and TimeSta<br>through the EXTI line |
| 3 | 10 | settable | RTC_WKUP | RTC Wakeup interru<br>EXTI line |
| 4 | 11 | settable | FLASH | Flash global interrupt |
| 5 | 12 | settable | RCC | RCC global interrupt |
| 6 | 13 | settable | EXTI0 | EXTI Line0 interrupt |
| 7 | 14 | settable | EXTI1 | EXTI Line1 interrupt |
| 8 | 15 | settable | EXTI2 | EXTI Line2 interrupt |
| 9 | 16 | settable | EXTI3 | EXTI Line3 interrupt |
| 10 | 17 | settable | EXTI4 | EXTI Line4 interrupt |
| . | | | | |
| . | | | | |
| . | | | | |
| 81 | 88 | | FPU | FPU global interrupt |



- *beskriva och använda kretsar för tidmätning.*

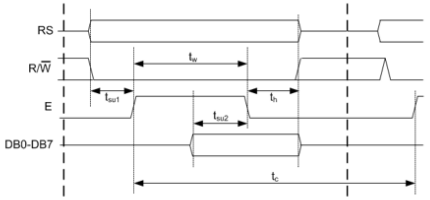
## Räknarkrets - "SysTick"




| offset | Register |
|---|---|
| 0 | STK_CTRL |
| 4 | STK_LOAD |
| 8 | STK_VAL |
| 0xC | STK_CALIB |

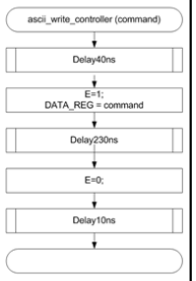
## Skrivcykel - karakteristika

Databladets tidsdiagram illustrerar hur styrsignaler och data ska läggas ut




| | | min |
|---|---|---|
| $t_c$ | cykel tid | 500 ns |
| $t_w$ | klockpuls ("Enable") varaktighet (hög och låg) | 230 ns |
| $t_{su1}$ | styrsignalernas setup-tid, före positiv E-flank | 40 ns |
| $t_{su2}$ | setup-tid för data, skrivning, före negativ E-flank | 80 ns |
| $t_h$ | hold-tid, varaktighet (efter negativ E-flank) | 10 ns |

Algoritm:




## Räknarkrets - register

**STK_CTRL (0xE000E010) Status och styrregister**

| offset | Register |
|---|---|
| 0 | STK_CTRL |

**STK_LOAD (0xE000E014) Räknarintervall**

| offset | Register |
|---|---|
| 4 | STK_LOAD |

**STK_VAL (0xE000E018) Räknarvärde**

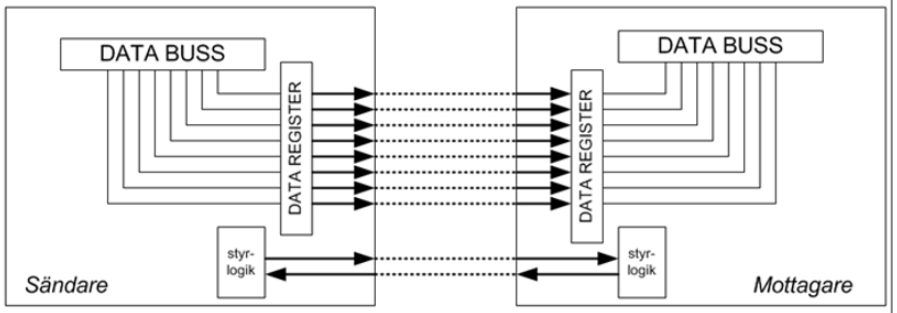
| offset | Register |
|---|---|
| 8 | STK_VAL |

Algoritm:

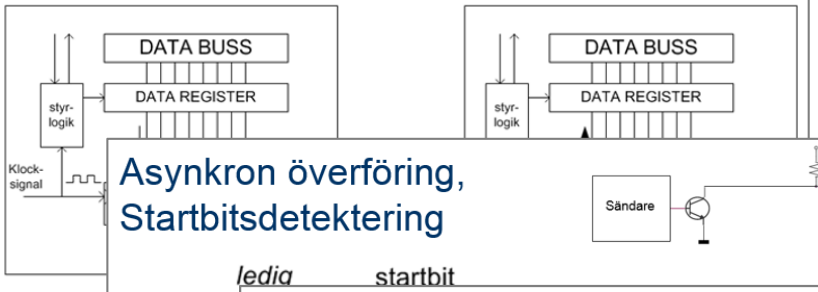
```
STK_CTRL = 0        Återställ SysTick
STK_LOAD = CountValue
STK_VAL = 0         Nollställ räknarregistret
STK_CTRL = 5        Starta om räknaren
Vänta till COUNTFLAG=1
STK_CTRL = 0        Återställ SysTick
```

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

## Parallell överföring




## Seriell överföring



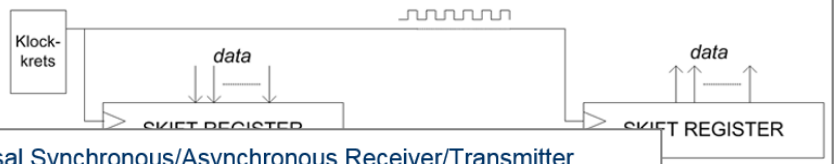

## Asynkron överföring, Startbitsdetektering




ledig startbit

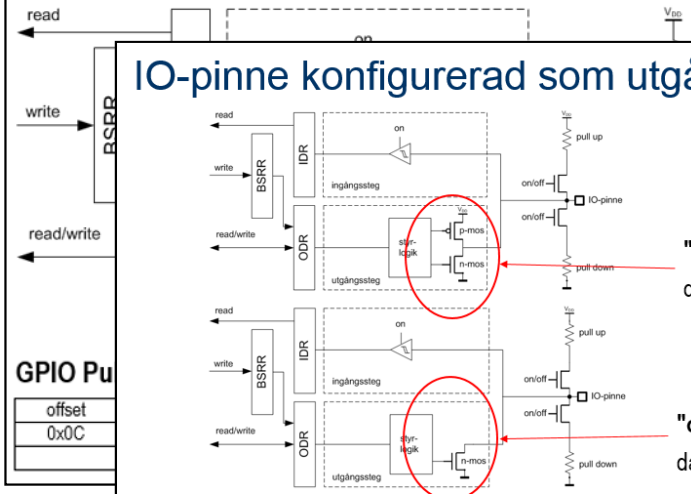
## Synkron överföring

Klocksignal och data på skilda ledningar




## IO-pinne konfigurerad som ingång

Vi kan programmera ”pull-up” eller ”pull-down”-funktion, inget externt motstånd behövs.




## IO-pinne konfigurerad som utgång



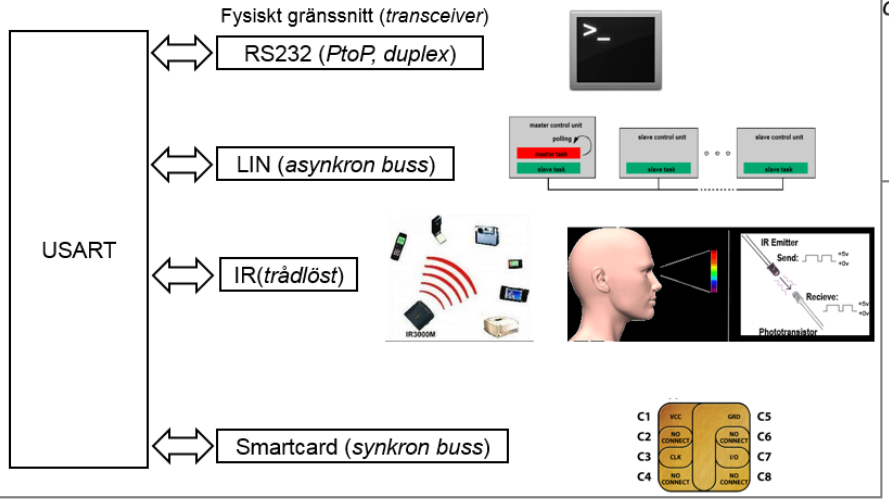

**"push-pull"** steg
då motsvarande bit i OTYPER är 0

**"open drain"** steg
då motsvarande bit i OTYPER är 1

GPIO Output Type Register

| offset | 31 | 30 | 29 | 28 | 27 | 26 | 25 | 24 | 23 | 22 | 21 | 20 | 19 | 18 | 17 | 16 | 15 | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | mnemonic |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0x04 | | | | | | | | | | | | | | | | | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | rw | GPIO_OTYPER |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | 0x05 | | | | | | | | 0x04 | | | | | | | |

## USART – Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter



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

- 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)

```
asm volatile(
     " LDR     R0,=0x00005555\n"
     " LDR     R1,=0x40020C00\n"
     " STR     R0,[R1]\n"
     ) ;
```

```
void main(void)
{
     unsigned char c;
     app_init();
     while(1){
          c = (unsigned char) *(( unsigned char *) 0x40020C11 );
          c = (c >> 3) & 7;
          * ( (unsigned char *) 0x40020C14) = c;
     }
 }
```

# Kodningskonventioner

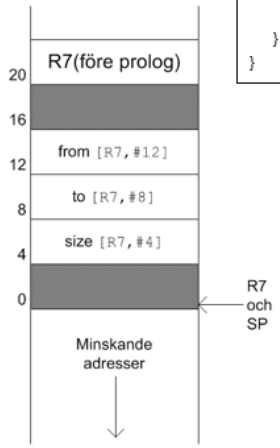
Program som kräver källtexter
både i 'C' och assemblerspråk...

## Kodoptimering – "för hand" - exempel

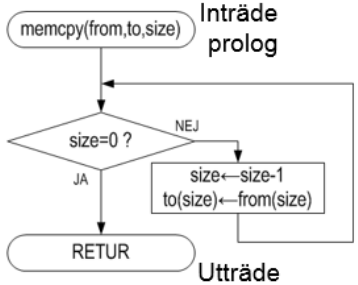
Anropssekvens: (formellt):

```
LDR   R0,=from
LDR   R1,=to
LDR   R2,size
BL    memcpy
```

Stackens utseende i "memcpy" efter prolog




```
void memcpy(  unsigned char from[],
    unsigned char to[],
    unsigned int size )
{
  while (size > 0){
    size = size - 1;
    to[size] = from[size];
  }
}
```




## Registeranvändning

I princip kan man använda de generella registren som man vill men det är mycket bättre att följa ARM's rekommendationer:

| Register | Användning | |
|---|---|---|
| R15 (PC) | Programräknare | |
| R14 (LR) | Länkregister | |
| R13 (SP) | Stackpekare | |
| R12 (IP) | | |
| R11 | Dessa register är avsedda för variabler och som temporära register. | |
| R10 | Om dom används måste dom sparas och återställas av | |
| R9 | den anropade (*callee*) funktionen | |
| R8 | | |
| R7 | Speciellt använder GCC R7 som pekare till aktiveringspost (*stack frame*) | |
| R6 | Också dessa register är avsedda för variabler och temporärbruk | |
| R5 | Om dom används måste dom sparas och återställas av | |
| R4 | den anropade (*callee*) funktionen | |
| R3 | parameter 4 / temporärregister | Dessa register sparas normalt sett |
| R2 | parameter 3 / temporärregister | inte över funktionsanrop men om, |
| R1 | parameter 2 / resultat 2 /temporärregister | så är det den anropande (*caller*) |
| R0 | parameter 1 / resultat 1/ temporärregister | funktionens uppgift |

**Kodförbättring, ingen onödig minnesanvändning, dvs. *registerallokering*, "förbättrad för hand"**

Registerallokering:
`R0: from`, ersätter [R7,#12]
`R1: to` , ersätter [R7,#8]
`R2: size` , ersätter [R7,#4]
`R3:` temporär
`R4:` temporär

Vi gör dessa substitutioner och kommenterar därefter ut de instruktioner som då blir överflödiga...

```
memcpy:
memcpy_prolog:
      PUSH  {R7}
      SUB   SP,SP,#20
      MOV   R7,SP
      STR   R0,[R7,#12]
      STR   R1,[R7,#8]
      STR   R2,[R7,#4]
memcpy_1:
      LDR   R3,[R7,#4]
      CMP   R3,#0
      BEQ   memcpy_epilog
memcpy_2:
      LDR   R3,[R7,#4]
      SUB   R3,R3,#1
      STR   R3,[R7,#4]
      LDR   R2,[R7,#8]
      LDR   R3,[R7,#4]
      ADD   R3,R3,R2
      LDR   R1,[R7,#12]
      LDR   R2,[R7,#4]
      ADD   R2,R2,R1
      LDRB  R2,[R2]
      STRB  R2,[R3]
      B     memcpy_1
memcpy_epilog:
      ADD   SP,SP,#20
      POP   {R7}
      BX    lr
```

```
memcpy:
memcpy_prolog:
      PUSH  {R4,LR}
@     SUB   SP,SP,#20
@     MOV   R7,SP
@     STR   R0,[R7,#12]
@     STR   R1,[R7,#8]
@     STR   R2,[R7,#4]
memcpy_1:
@     LDR   R3,[R7,#4]
      CMP   R2,#0
      BEQ   memcpy_epilog
memcpy_2:
@     LDR   R3,[R7,#4]
      SUB   R3,R3,#1
@     STR   R3,[R7,#4]
@     LDR   R2,[R7,#8]
@     LDR   R3,[R7,#4]
      MOV   R3,R0
      ADD   R3,R3,R2
      MOV   R4,R1
      ADD   R4,R4,R2
@     ADD   R3,R3,R2
@     LDR   R1,[R7,#12]
@     LDR   R2,[R7,#4]
@     ADD   R2,R2,R1
      LDRB  R3,[R3]
      STRB  R3,[R4]
      B     memcpy_1
memcpy_epilog:
@     ADD   SP,SP,#20
      POP   {R4,PC}
@     BX    lr
```

# Pekare och deras användning, programmeringsuppgifter *eller* kortare frågor.

## Pekare

- Pekarens värde är en adress.
- Pekarens typ berättar hur man tolkar bitarna som finns på adressen.

Vi hämtar värdet som ligger på adressen som ligger i p.

```
// array av chars
char str[] = "abc";

// p pekare till char
char* p = str; // == &str[0] == &(str[0])

*p; // värdet p pekar på är 'a'

*p = 'b';
```

```
MOV R0, #'b'
LDR  R1, p  // r1 <- &str
STRB R0, [R1] - skriv till *p
```

```
LDR  R0, =str
LDR  R1, =p
STR  r0, [R1]

LDR  R0, p
LDRB R0, [R0] - läs *p
```

7

## Absolutadressering

```
0x40011000                  // ett hexadecimalt tal
(unsigned char*) 0x40011000 // en unsigned char pekare som pekar på adress 0x40011004
*((unsigned char*) 0x40011000)       // dereferens av pekaren

// läser från 0x40011000
unsigned char value = *((unsigned char*) 0x40011000);

// skriver till 0x40011004
*((unsigned char*) 0x40011004) = value;
```

```
/*
  memcpy.c
  C-library function "memcpy"
*/
#         <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...

**Att översätta enklare C-kod till assemblerspråk, med kompilatorkonventioner.
Eller från en annan specifikation, text eller flödesdiagram.**

1.7.10. Funktionen `int g( int )` är definierad. Visa hur följande funktion kan kodas i assemblerspråk:

```
int f( int val )
{
    int i;
    int bits = 0;

    for( i=0 ; i< val; i++ )
    {
        bits = bits | g(i);
    }
    return bits;
}
```

```
@ Registerallokering:
@ R0, parameter och returvärde
@ R4 ”i”
@ R5 ”bits”
@ R6 ”val” spill från R0
f:
PUSH            {R4,R5,R6,LR}
@ 'prolog'
        MOV             R6,R0   @ spillregister R6
        MOV             R5,#0           @ bits = 0;
@ 'uttryck 1'
        MOV             R4,#0   @ i = 0;
@ 'For_continue' - 'uttryck 2'
.L1:
        CMP             R4,R6   @ i - val
        BGE             .L2             @ i < val, komplementvillkor
@ 'satser'
        MOV             R0,R4
        BL              g                       @ g(i);
        ORR             R5,R5,R0                @ bits = bits | g(i);
@ 'uttryck 3'
        ADD             R4,R4,#1                @ i++;
        B               .L1
@ 'For_Break'
.L2:
        MOV             R0,R5   @ ”bits” -> R0 (returvärde)
        POP             {R4,R5,R6,PC}
```

# Utformning av skriftlig tentamen (max 50 poäng):

Uppgifter som är direkt relaterade till laborationerna 2-4 kan utgöra 15-25 poäng

*Uppgiftstyperna beskrivna som laborationsuppgifter*

Assemblerprogrammering, kodgenerering och kodningskonventioner (10-20 poäng):
Typiskt att översätta ett C-program till assemblerkod med rätt kompilatorkonventioner

*Uppgiftstyperna beskrivna under lektioner – kompletterade med ”Exempelsamling” på hemsidan*

Pekare (5-10 poäng)
programmeringsuppgift *eller* en rad kortare uppgifter av frågekaraktär.

Maskinorienterad programmering i C (10-15 poäng)
En mer omfattande programmeringsuppgift *och/eller* en rad kortare uppgifter av frågekaraktär.

*Exempel på programmeringsuppgifter återfinns i åtskilliga äldre tentamina. Uppgifter med frågekaraktär har behandlats på föreläsningar och/eller övningar och återfinns i presentations-materialet.*