TSEA28 Datorteknik Y (och U)

Föreläsning 5

Kent Palmkvist, ISY

LINKÖPINGS UNIVERSITET

Dagens föreläsning

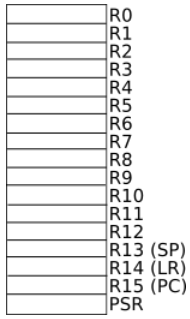
- Darma, ARM Cortex-M (labbdatorn)
  - Instruktionsuppsättning
  - Hur utföra vanliga operationer
- Exempel hur program fungerar
- Vanliga fel vid programmering

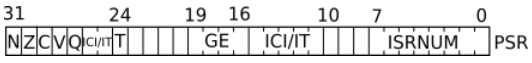
Praktiska kommentarer

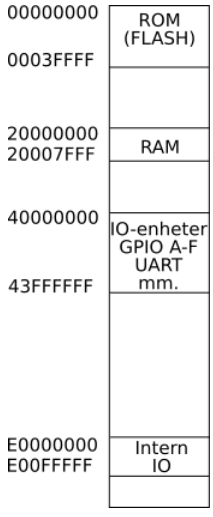
- Labanmälan finns tillgänglig
  - Kursrummet på lisam, nere till vänster
  - Lab 1 del A deadline anmälan 240129, kl 23.30
    - Anmälan krävs för att få vara i labbet under schemalagd tid
- Labförberedelser
  - Bra att vara förberedd innan 1:a lektionen
  - Vi räknar inte med att ni kan processorbeskrivningen utantill, men att ni vet var man hittar den informationen i manualen
- Programvaran installerad på alla linux maskiner (thinlinc, ssh, asgård, olympen, egypten)
  - Endast användbart fört kodinmatning och assemblering
- MUX2: Maskiner med distansutrustning
  - Emulerar tangentbord etc. mha arduino (kommandon tsea28lab1, tsea28lab2 etc.)
  - Se Introduktion till Darma, video på lisam, samt förra föreläsningen för mer information.

Programmerarens vy av DARMA

- CPU med 13 generella register, PC, LR, SP samt statusregister PSR
- 256 KB Flash programminne (ROM, bara läsning)
  - Programkod
  - Konstanter
- 32KB RAM för data (skriv och läs)
  - Variabler
  - Stack etc.
- Minnesmappad I/O







Skillnad mellan kod Darma och andra miljöer

- Code Composer studio använder TI assembler, boken använder Kiel assembler
  - Olika sätt beskriva konstanter, alignment, etc.

Kiel:	TI:	
DCB value	.field value,8	; 8 bit värde placerat i programminnet
DCW value	.field value,16	; 16 bit värde placerat i programminnet
DCD value	.field value,32	; 32 bit värde placerat i programminnet
ALIGN	.align 4	
DCB ”text”	.string ”text”	
AREA	.text	
	.global	
EQU	.equ	
LDR r0, =value	Finns ej, måste välja mellan MOV, MVN, MOVT och LDR	

ARM och Thumb instruktionsformat

- En instruktion kan beskrivas med maximalt 32 bitar
  - Både opcode och argument måste få plats på 32 bitar.
  - Argument måste därför vara mindre än 32 bitar
- Konstanter i instruktioner (argument) måste vara kortare än 32 bitar
  - Dessutom flera argument till samma instruktion (t ex register och värde)
- I många fall kan en 32-bitars konstant konstrueras som ett 8-bitars värde med 0:or på båda sidor för att skapa ett 32-bitars värde
  - Ex: 0x00000093 ses som 10010011 med 24 nollor till vänster
  - Ex: 0x00027400 ses som 10011101 med 10 nollor till höger och 14 nollor till vänster
  - Ex: 0x0E003000 går ej plats då 1110000000000011 är fler än 8 bitar
  - Ex: -3 går ej plats då det översätts till 0xfffffffd

Assemblerinstruktioner i Darma

Ladda en konstant till register

- Små (max 8 bitar) och enkla konstanter (8 bitar skiftade vänster)

```
MOV rd,#konstant   ; Placera värdet i register rd
MVN rd,#konstant   ; Placera inverterade värdet i register rd
                   ; (dvs  -konstant-1)
```

- Exempel
  - MOV r0,#0x0 ; Sätt r0=0x00000000
  - MVN r0,#0x0 ; Sätt r0=0xffffffff
  - MOV r0,#0x000FF000
- Knep med negativa tal (kuriosa)
  - MVN r0,#~(negativkonstant) ; assembler beräknar rätt mönster
  - Exempel: MVN r0,#~(-3) ; ger MVN r0,#0x00000002 vilket ger r0=0xfffffffd (-3)

Ladda en 16 bitars konstant till register

- Kan även använda 16-bitars konstant för laddning av konstant
  - MOV rd,#Konstant16bit
  - De övre 16 bitarna (bit 31-16) nollställs i registret
- Exempel
  - MOV r0,#0xa357
  - MOV r0,#12345 ; 12345 = 0x3039, dvs 16 bitar räcker

Ladda en lång konstant till register (32 bit)

- Längre konstanter (värde känt vid assemblering) kan laddas i två steg
  - Sätt först de 16 lägsta bitarna (nollställer samtidigt de övre 16 bitarna i registret)

    ```
    MOV rd,#(longkonstant & 0xffff)   ; 16 lägsta bitarna av värdet
                                      ; placeras i register rd
    ```

  - Sätt de översta 16 bitarna

    ```
    MOVT rd,#(longkonstant >> 16)   ; Placera 16 högsta bitarna av värdet
    ```

- Exempel

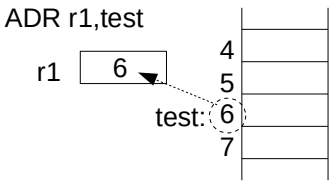
  ```
  MOV r0,#(0x12345678 & 0xffff)   ; Sätter r0=0x00005678
  MOVT r0,#(0x12345678 >> 16)     ; sätter översta 16 bitarna,
                                  ; resultat r0=0x12345678
  ```

Viktig begränsning av konstantvärdet

- & = logisk and, >> = logisk skift höger
  - C-kod syntax
- & och >> beräknas innan assemblering
  - Måste vara kända konstanter
  - Går inte använda adresser i programminnet
    - Inte tilldelade adresser förrän vid länkning
  - Kan inte vara registervärden
- Går att skriva kod utan att använda & och >>
  - Exempel:
    - MOV r0,#5678 ; Sätter r0=0x00005678
    - MOVT r0,#0x1234 ; sätter översta 16 bitarna, resultat r0=0x12345678

Ladda register med en address i programminnet

- Programminnets exakta adresser inte kända vid assemblering
  - Behöver kunna räknas fram av länkaren
  - Pseudoinstruktion finns för detta
- ADR rd,label
  - Lagra adressen till label i register rd
  - Label måste ligga max +/-4095 från nuvarande PC-värde (placering av instruktionen)
  - Kan peka på konstanter (tabeller och data) lagrat i programminnet
  - Kan inte peka på variabler i RAM-minnet (för långt bort!)
- Assembler översätter till add eller sub av PC-register

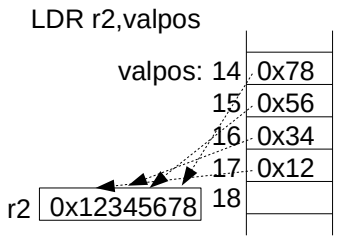



```
data:   .field 0x1234,32
prog:   adr r0,data
        ldr r1,[r0]
```

Ladda en lång konstant, forts.

- LDR r0,constlabel
  - Ladda värde från minne, constlabel får vara placerad i programminnet max 4095 adresser bort från PC
  - Implementeras som läsning med offsettadressering mha PC
    - LDR r2,valpos

      assembler => ldr r2,[PC,#offset]
- Constlabel .field 0x12345678,32
  - Definiera datavärde (32 bitar lång) placerat i programminnet på plats constlabel (little endian)
  - Vanligt samla ihop alla konstanter i ett block placerat efter programkoden



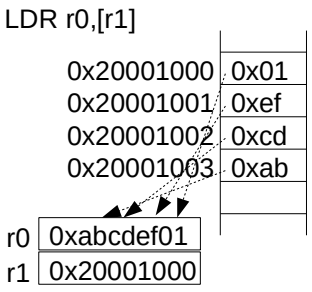

```
; definiera ett 32-bitars värde
; i programminnet på plats valpos

valpos: .field 0x12345678,32
```


Läsning från minnet (32 bit)

- Data och I/O-enheter ligger långt från programminnet
  - Använd ett register som innehåller (pekar på) adressen som ska läsas
    - Sätt värdet i pekarregistret innan minnesaccess
    - Många adresseringsmoder att välja bland
- LDR rd,operand ; läs värde från minne
  - Operand anger hur minnesadressen ska bestämmas
- Exempel läs från dataminnet på adress 0x20001000

  LDR r0,[r1] ; antag r1=0x20001000



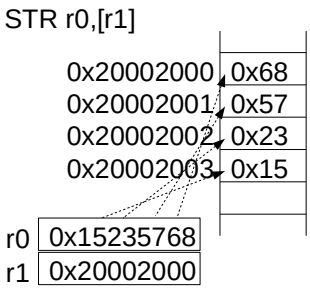
Skrivning till minnet (32 bit)

- STR rn,operand ; skriv värde i rn till minne
- Exempel skriv r0 till dataminnet

  ; Antag r0=0x15235768

  ; Antag r1=0x20002000

  STR r0,[r1] ; sätter minne[0x20002000]=0x15235768
- 32-bitars data kan för vissa ARM-processorer kräva adress jämnt delbar med 4 (både för LDR och STR)
  - DARMA kan inte använda udda adress vid läsning av programminnet!
  - DARMA kan inte använda udda adress vid läsning och skrivning i dataminnet!



Läsning och skrivning i minnet, byte

- Kan läsas/skrivas från valfri adress (även udda adress)
  - 8 lägsta bitarna (bit 7-0) i registret används
- Exempel
  - LDRB r0,[r1] ; läs en byte från adress som r1 pekar på
  - STRB r0,[r1] ; skriv en byte (bit 7-0 i r0) till adress som r1 pekar på
- Registerbitar 31-8 vid läsning av byte från minne
  - LDRB r0,[r1] ; sätt bit 31-8 = 0
  - LDRSB r0,[r1] ; sätt bit 31-8 = teckenbit på indata (bit 7)
    - LDRSB = LDR Signed Byte, dvs teckenförlänger

Läsning och skrivning i minnet, halvord

- Kan läsas/skrivas från valfri jämn adress (även ej jämnt delbar med 4)
  - 16 lägsta bitarna (bit 15-0) i registret används
- Exempel
  - LDRH r0,[r1] ; läs två byte med start på adress som r1 pekar på
  - STRH r0,[r1] ; skriv två byte med start på adress som r1 pekar på
- Registerbitar 31-16 vid läsning av byte från minne
  - LDRH r0,[r1] ; sätt bit 31-16 = 0
  - LDRSH r0,[r1] ; sätt bit 31-16 = teckenbit på indata (bit 15)
    - LDRSH = LDR Signed Halfword, dvs teckenförlänger
- Använder little-endian, bit 7-0 i [r1], bit 15-8 i [r1+1]

Adresseringsmoder i Cortex-M

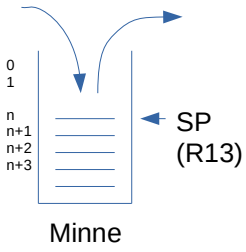
- Access till minne på en adress som anges i instruktionen finns inte hos ARM
  - ~~LDR r0,0x231450~~ ; läs på adress 0x231450 FINNS INTE hos arm
- Adress som används för minnesaccess kan delvis räknas ut samtidigt (konstanter begränsade till 12 bit 2-komplement)
  - Register indirekt: LDR r0,[r1]
    - hämta värde från adress som finns i r1
  - Register indirekt med Offset: LDR r0,[r1,#8]
    - hämta värde från adress beräknad av r1 + 8
  - Register indirekt register indexed: LDR r0,[r1,r2]
    - hämta värde från adress beräknad av r1 + r2
  - Register indirekt register index med skalning: LDR r0,[r1,r2,LSL#2]
    - hämta värde från adress beräknad som r1 + (r2 << 2) dvs r1 + r2*4

Adresseringsmoder i Cortex-M, forts.

- Minnesaccesser kan även uppdatera registret som innehåller adressen
  - Register indirekt post-increment: ldr r0,[r1],#4
    - läs från minnesadress som finns i r1, öka därefter r1 med 4
  - Register indirekt pre-increment: ldr r0,[r1,#4]!
    - Öka först värdet i r1 med 4, läs sedan från minnesadress som anges av det nya värdet i r1
- Användbart för hantering av data i strängar och sekvenser
  - Läs tecken i en sträng och öka samtidigt positionspekare
  - LDRB r0,[r1],#1 ; Läs en byte från position som anges i r1, öka
    ; sedan position (dvs r1) med 1

Stackhantering i ARM Cortex-M

- R13 (SP) pekar på översta använda adress i stacken
  - Lägst adress som används. Uppdateras av PUSH och POP
- PUSH {registerlista}
  - Sparar register på stacken (kan vara många)
  - Exempel: PUSH {r0,r1} ; Spara r0 och r1 på stack
  - Placerar r1 först, r0 sedan på stack (använder alltid högst registernummer först)
- POP {registerlista}
  - Hämtar värden från stack till register
  - Exempel: POP {r3,r4} ; Hämta först r3, sedan r4 från stack (använder alltid lägst registernummer först)



Att placera annat data i programminnet

- Programminnet innehåller program och konstanter
- Konstanter kan placeras i programminnet mellan subrutinerna
- Olika sätt att beskriva konstanta värden
  - Label: .field value,size
    - Size 8, 16 eller 32
  - Label: .string ”sträng”,byte,byte
    - Sträng översätts till ascii-tecken, efterföljande byte kan vara t ex 13, 10 för CR, LF
- Se till att nästa rutin eller data börjar på adress delbar med 4
  - .align 4
- Hitta adress till konstanterna
  - Adr rd,label

Adresseringslägen, cortex-M, forts.

- Vilka behöver man kunna?
  - Direkt (ladda konstanter)
  - Registerindirekt (använda r0-r12 som pekare)
  - push/pop på stack
  - Alla andra går att lösa mha beräkning i r0-r12 registren
    - Dock mindre effektivt

Beräkningsinstruktioner

- Arbetar bara på register (aldrig direkt mot minnet)
- ADD,SUB ; addition och subtraktion
  - ADDS, SUBS för att uppdatera flaggor
  - Exempel: ADD r2,r2,r3 ; r2=r2+r3, inga flaggor uppdateras
    SUBS r1,r2,#2 ; r1=r2-2, uppdater Z,N,C,V flaggorna
- CMP ; jämför värde i register
  - Påverkar alltid flaggor, ändrar inte register r0-r12
  - Exempel: CMP r0,r1 ; beräkna r0-r1, uppdatera flaggor enligt resultatet
- AND,ORR,EOR ; bitvis logisk operation
  - ANDS, ORRS, EORS för att uppdatera N och Z flaggor
- LSL, LSR, ASR, ROL, ROR ; skiftning/rotation
- MOV ; flytta värde mellan register
  - MOVS för att uppdatera N och Z flaggorna

Hopp

- b label
  - Hoppa i koden till positionen label (ovillkorligt)
- bcc label
  - Villkorligt hopp till positionen label

cc	flaggvärden	betydelse
EQ	Z=1	lika
NE	Z=0	inte lika
CS eller HS	C=1	större eller lika, positiva heltal
CC eller LO	C=0	mindre än, positiva heltal
MI	N=1	negativt
PL	N=0	positivt eller noll
VS	V=1	spill
VC	V=0	inget spill
HI	C=1 och Z=0	större än, postiva heltal
LS	C=0 eller Z=1	mindre eller lika, positiva heltal
GE	N = V	större än eller lika, 2-komplement
LT	N != V	mindre än, 2-komplement
GT	Z=0 och N=V	större än, 2-komplement
LE	Z=1 och N!=V	mindre än eller lika, 2-komplement

Subrutiner, anrop och återhopp

- BL label ; Branch and link
  - Hoppa i koden till positionen label och lagra samtidigt adressen till instruktionen efter bl i register LR (r13)
  - LSB i R13 sätts till 1 automatiskt (för att indikera thumbkod)
- Återhopp
  - BX LR ; Branch and exchange LR
    - Återställ PC (R15) till värdet i LR (r13)
    - Viktigt: r13 måste ha LSB = 1 (måste vara en udda adress, sätts av bl)

Subrutinanrop i flera nivåer

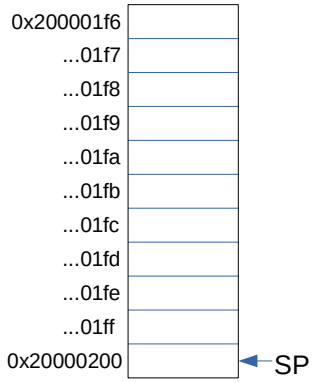
- En subrutin som anropar en annan subrutin måste först spara undan länkregistret
  - PUSH {LR}
- Innan återhopp måste LR återställas
  - POP {LR}
  - BX LR

Exempel: stack och subrutiner

- Lite exempelkod

```
        ; Antagande. SP = 0x20000200,
        ; r1=0x12345670 från main
→ 00026c    MOV  r0,#66
  000270    BL   0x00000344
  000274    ...

  000344    PUSH {r1}
  000348    MOV  r1,#0
  00034c    ADD  r1,r1,r0
  000350    SUBS r0,r0,#1
  000354    BNE  0x00034c
  000358    MOV  r0,r1
  00035c    POP  {r1}
  000360    BX   LR
```



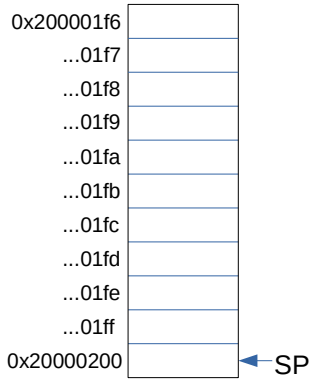
r0 xxxxxxxx
r1 0x12345670
SP 0x20000200
LR xxxxxxxx
PC 0x0000026c
Z X

- Går igenom koden
  - Exempel på hur man kan ta reda på funktion hos en given maskinkod

Exempel: stack och subrutiner, forts. 1

```
        ; Antagande. SP = 0x20000200,
        ; r1=0x12345670 från main
→ 00026c    MOV  r0,#66
  000270    BL   0x00000344
  000274    ...

  000344    PUSH {r1}
  000348    MOV  r1,#0
  00034c    ADD  r1,r1,r0
  000350    SUBS r0,r0,#1
  000354    BNE  0x00034c
  000358    MOV  r0,r1
  00035c    POP  {r1}
  000360    BX   LR
```



r0 0x00000042
r1 0x12345670
SP 0x20000200
LR xxxxxxxx
PC 0x00000270
Z X

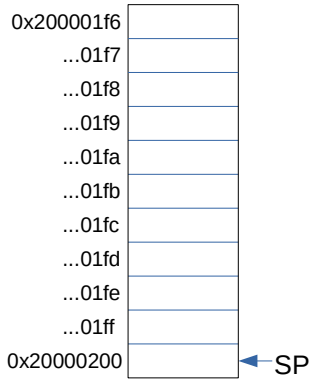
- Ladda r0 med $66_{10} = 42_{16}$
  - Flaggor påverkas inte
  - Räkna upp PC till nästa instruktion

Exempel: stack och subrutiner, forts. 2

```
          ; Antagande. SP = 0x20000200,
          ; r1=0x12345670 från main

00026c    MOV  r0,#66
000270    BL   0x00000344
000274    ...

000344    PUSH {r1}
000348    MOV  r1,#0
00034c    ADD  r1,r1,r0
000350    SUBS r0,r0,#1
000354    BNE  0x00034c
000358    MOV  r0,r1
00035c    POP  {r1}
000360    BX   LR
```



r0 0x00000042
r1 0x12345670
SP 0x20000200
LR 0x00000275
PC 0x00000344
Z X

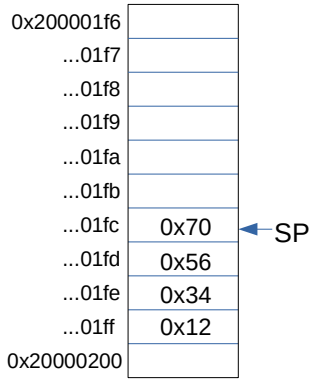
- Kopiera återhoppsadress (nästa PC) till LR
  - Instruktion efter BL är på 0x00000274, med LSB=1 fås 0x00000275 (placeras i LR)
  - Sätt PC till subrutinens adress

Exempel: stack och subrutiner, forts. 3

```
          ; Antagande. SP = 0x20000200,
          ; r1=0x12345670 från main

00026c    MOV  r0,#66
000270    BL   0x00000344
000274    ...

000344    PUSH {r1}
000348    MOV  r1,#0
00034c    ADD  r1,r1,r0
000350    SUBS r0,r0,#1
000354    BNE  0x00034c
000358    MOV  r0,r1
00035c    POP  {r1}
000360    BX   LR
```



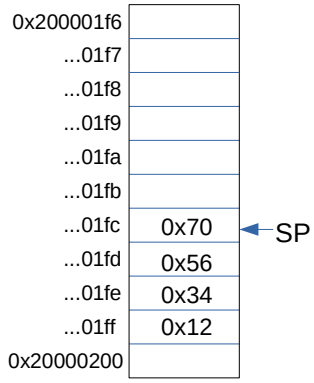
r0 0x00000042
r1 0x12345670
SP 0x200001fc
LR 0x00000275
PC 0x00000348
Z X

- Push nuvarande r1-värde till stack
  - Minska SP med 4, sätt M[0x200001ff], M[0x200001fe],M[0x200001fd], M[0x200001fc] med little-endian ordning

Exempel: stack och subrutiner, forts. 4

```
          ; Antagande. SP = 0x20000200,
          ; r1=0x12345670 från main
00026c    MOV  r0,#66
000270    BL   0x00000344
000274    ...

000344    PUSH {r1}
000348    MOV  r1,#0
00034c    ADD  r1,r1,r0
000350    SUBS r0,r0,#1
000354    BNE  0x00034c
000358    MOV  r0,r1
00035c    POP  {r1}
000360    BX   LR
```

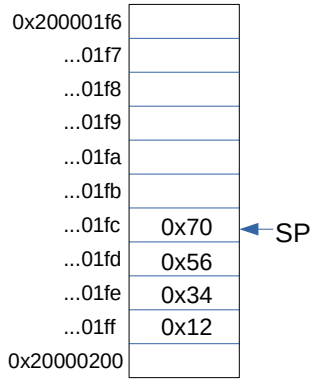
r0 0x00000042
r1 0x00000000
SP 0x200001fc
LR 0x00000275
PC 0x0000034c
Z X

- Sätt r1 till 0

Exempel: stack och subrutiner, forts. 5

```
          ; Antagande. SP = 0x20000200,
          ; r1=0x12345670 från main
00026c    MOV  r0,#66
000270    BL   0x00000344
000274    ...

000344    PUSH {r1}
000348    MOV  r1,#0
00034c    ADD  r1,r1,r0
000350    SUBS r0,r0,#1
000354    BNE  0x00034c
000358    MOV  r0,r1
00035c    POP  {r1}
000360    BX   LR
```

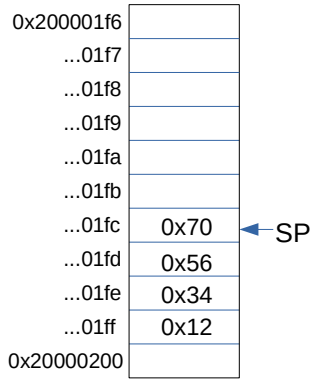
r0 0x00000042
r1 0x00000042
SP 0x200001fc
LR 0x00000275
PC 0x00000350
Z X

- Beräkna r1 = r1 + r0
  - r1 = 0x00000, r0 = 0x00042 => r1 = 0x00042
  - Inga flaggor ändras då det inte är ADDS

Exempel: stack och subrutiner, forts. 6

```
        ; Antagande. SP = 0x20000200,
        ; r1=0x12345670 från main
00026c    MOV  r0,#66
000270    BL   0x00000344
000274    ...

000344    PUSH {r1}
000348    MOV  r1,#0
00034c    ADD  r1,r1,r0
000350    SUBS r0,r0,#1
000354    BNE  0x00034c
000358    MOV  r0,r1
00035c    POP  {r1}
000360    BX   LR
```

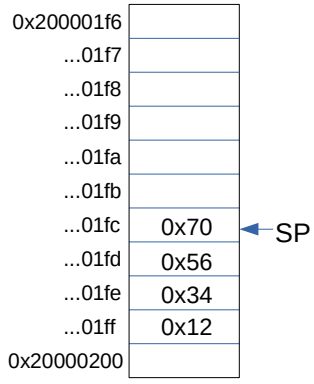
r0 0x00000041
r1 0x00000042
SP 0x200001fc
LR 0x00000275
PC 0x00000354
Z 0

- Beräkna r0 = r0 – 1, uppdatera flaggor
  - Resultat skilt noll => Z=0

Exempel: stack och subrutiner, forts. 7

```
        ; Antagande. SP = 0x20000200,
        ; r1=0x12345670 från main
00026c    MOV  r0,#66
000270    BL   0x00000344
000274    ...

000344    PUSH {r1}
000348    MOV  r1,#0
00034c    ADD  r1,r1,r0
000350    SUBS r0,r0,#1
000354    BNE  0x00034c
000358    MOV  r0,r1
00035c    POP  {r1}
000360    BX   LR
```

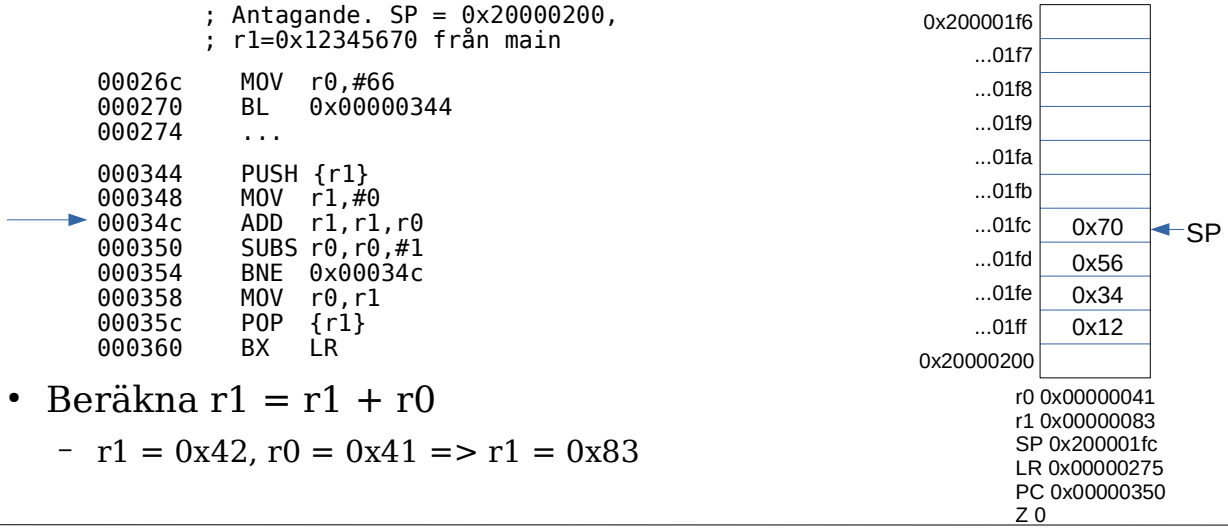
r0 0x00000041
r1 0x00000042
SP 0x200001fc
LR 0x00000275
PC 0x0000034c
Z 0

- Om Z = 0 hoppa till 0x0000034c
  - Z = 0 => PC = 0x0000034c

Exempel: stack och subrutiner, forts. 8

```
        ; Antagande. SP = 0x20000200,
        ; r1=0x12345670 från main
00026c    MOV  r0,#66
000270    BL   0x00000344
000274    ...

000344    PUSH {r1}
000348    MOV  r1,#0
00034c    ADD  r1,r1,r0
000350    SUBS r0,r0,#1
000354    BNE  0x00034c
000358    MOV  r0,r1
00035c    POP  {r1}
000360    BX   LR
```

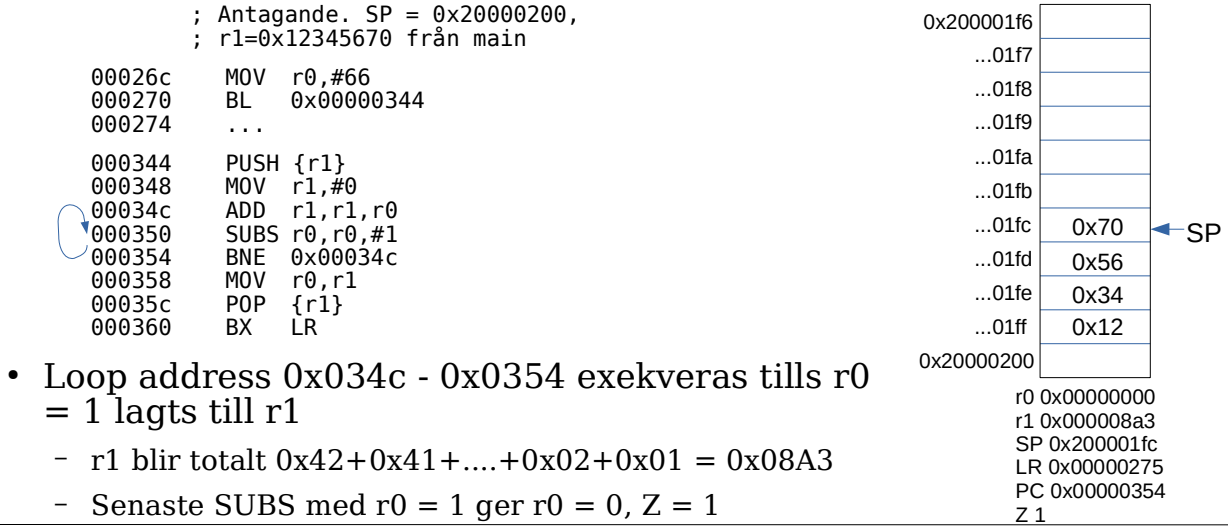


- Beräkna r1 = r1 + r0
  - r1 = 0x42, r0 = 0x41 => r1 = 0x83

Exempel: stack och subrutiner, forts. 9

```
        ; Antagande. SP = 0x20000200,
        ; r1=0x12345670 från main
00026c    MOV  r0,#66
000270    BL   0x00000344
000274    ...

000344    PUSH {r1}
000348    MOV  r1,#0
00034c    ADD  r1,r1,r0
000350    SUBS r0,r0,#1
000354    BNE  0x00034c
000358    MOV  r0,r1
00035c    POP  {r1}
000360    BX   LR
```

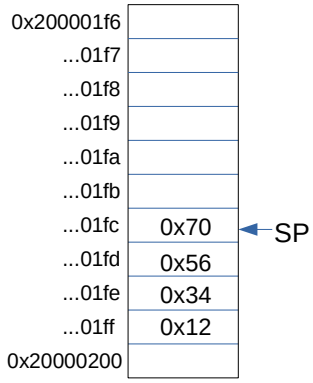


- Loop address 0x034c - 0x0354 exekveras tills r0 = 1 lagts till r1
  - r1 blir totalt 0x42+0x41+....+0x02+0x01 = 0x08A3
  - Senaste SUBS med r0 = 1 ger r0 = 0, Z = 1

Exempel: stack och subrutiner, forts. 10

```
        ; Antagande. SP = 0x20000200,
        ; r1=0x12345670 från main
00026c    MOV  r0,#66
000270    BL   0x00000344
000274    ...

000344    PUSH {r1}
000348    MOV  r1,#0
00034c    ADD  r1,r1,r0
000350    SUBS r0,r0,#1
000354    BNE  0x00034c
000358    MOV  r0,r1
00035c    POP  {r1}
000360    BX   LR
```



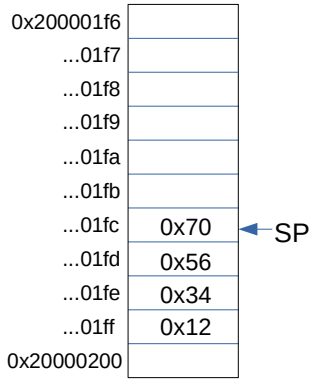
r0 0x00000000
r1 0x000008a3
SP 0x200001fc
LR 0x00000275
PC 0x00000358
Z 1

- Om Z = 0 sätt PC till 0x00034c
  - Z = 1 därför blir PC = 0x000358 (nästa instruktion)

Exempel: stack och subrutiner, forts. 11

```
        ; Antagande. SP = 0x20000200,
        ; r1=0x12345670 från main
00026c    MOV  r0,#66
000270    BL   0x00000344
000274    ...

000344    PUSH {r1}
000348    MOV  r1,#0
00034c    ADD  r1,r1,r0
000350    SUBS r0,r0,#1
000354    BNE  0x00034c
000358    MOV  r0,r1
00035c    POP  {r1}
000360    BX   LR
```



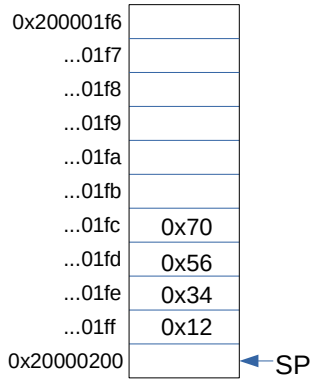
r0 0x000008a3
r1 0x000008a3
SP 0x200001fc
LR 0x00000275
PC 0x0000035c
Z 1

- Kopiera värdet i r1 till r0
  - r1 = 0x000008A3 => r0 = 0x000008A3

Exempel: stack och subrutiner, forts. 12

```
        ; Antagande. SP = 0x20000200,
        ; r1=0x12345670 från main
00026c    MOV  r0,#66
000270    BL   0x00000344
000274    ...

000344    PUSH {r1}
000348    MOV  r1,#0
00034c    ADD  r1,r1,r0
000350    SUBS r0,r0,#1
000354    BNE  0x00034c
000358    MOV  r0,r1
00035c    POP  {r1}
000360    BX   LR
```



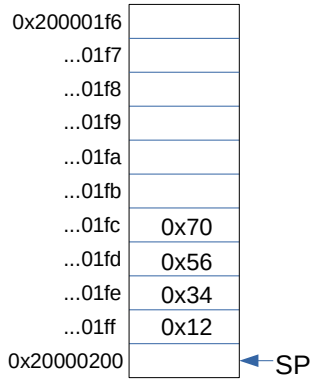
r0 0x000008a3
r1 0x12345670
SP 0x20000200
LR 0x00000275
PC 0x00000360
Z 1

- Pop av värde tillbaks till r1
  - Kopiera M[0x200001fc],M[0x200001fd], M[0x200001fe],M[0x200001ff] till r1
  - Öka SP med 4

Exempel: stack och subrutiner, forts. 13

```
        ; Antagande. SP = 0x20000200,
        ; r1=0x12345670 från main
00026c    MOV  r0,#66
000270    BL   0x00000344
000274    ...

000344    PUSH {r1}
000348    MOV  r1,#0
00034c    ADD  r1,r1,r0
000350    SUBS r0,r0,#1
000354    BNE  0x00034c
000358    MOV  r0,r1
00035c    POP  {r1}
000360    BX   LR
```



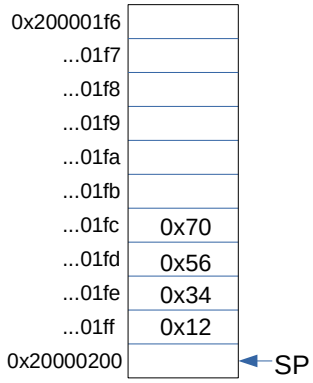
r0 0x000008a3
r1 0x12345670
SP 0x20000200
LR 0x00000275
PC 0x00000274
Z 1

- Återhopp från subrutin
  - Kopiera LR till PC, nollställ LSB i PC

Exempel: stack och subrutiner, forts. 14

```
            ; Antagande. SP = 0x20000200,
            ; r1=0x12345670 från main
00026c      MOV  r0,#66
000270      BL   0x00000344
000274      ...

000344      PUSH {r1}
000348      MOV  r1,#0
00034c      ADD  r1,r1,r0
000350      SUBS r0,r0,#1
000354      BNE  0x00034c
000358      MOV  r0,r1
00035c      POP  {r1}
000360      BX   LR
```



r0 0x000008a3
r1 0x12345670
SP 0x20000200
LR 0x00000275
PC 0x00000278
Z 1

- Fortsätter med resten av programmet
  - Subrutinen har beräknat $r0 = \sum_{x=1}^{r0} x$
  - r1 har använts men återställts

Vanliga fel vid programmering

- Glömma # eller 0x
- Ett # eller 0x för mycket (på fel ställe)
- Glömma ange ordlängd på instruktion
  - LDR istället för LDRB respektive STR istället för STRB
- Läsa/skriva 16 eller 32 bitars ord på udda adresser
- Tar bort fel antal element på stacken före retur från subrutin
- Villkorliga subrutinanrop (finns inte i vår CPU!)
- Inte avsluta subrutin med bx lr

Exempel på olämplig/felaktig kod

- Verkar försöka kontrollera om r2=r3 och skriva ut meddelande annars kopieras värde in i r0
- Just nu skrivs det ut korrekt 1 gång
- Ser ni problemen?
- Programmet hänger sig till slut

```
huvudprogrammet      ; Ej fungerande variant
   bl calculate
   ...
calculate            ; En subrutin
   push {lr}
   add r1,r1,r0
   add r1,r1,r2
   cmp r2,r3
   beq printmessage
   mov r3,r0
   pop {pc}

printmessage         ; En till subrutin
   adr r4,errorstring ; peka på sträng
   bl printit
printit:             ; Ytterligare subrutin
   ...  ; Lite mer kod här...
   b huvudprogrammet
```


Källor till problem i exemplet

- Svår att felsöka
- Subrutiner hoppar till varandra via BEQ/BNE
- Viktigt fel: Växande stack
- Återhopp till huvudprogram sist i subrutin utan att återställa stack
- Till slut kommer stacken skriva över data och/eller program
- Sparar inte LR innan subrutin anropas

```
huvudprogrammet      ; Ej fungerande variant
   bl calculate
   ...
calculate            ; En subrutin
   push {lr}
   add r1,r1,r0
   add r1,r1,r2
   cmp r2,r3
   beq printmessage
   mov r3,r0
   pop {pc}

printmessage         ; En till subrutin
   adr r4,errorstring ; peka på sträng
   bl printit
printit:             ; Ytterligare subrutin
   ...  ; Lite mer kod här...
   b huvudprogrammet
```

Bättre variant

```
Huvudprogrammet    ; Fungerande variant
   bl calculate
   ...
calculate:                  ; En subrutin
   push {lr}
   add r1,r1,r0
   add r1,r1,r2
   cmp r2,r3
   bne dontprint
   bl printmessage
   pop {pc}

dontprint:
   mov r3,r0
   pop {pc}

printmessage                ; En till subrutin
   push {lr}
   adr r4,errorstring       ; peka på sträng
   bl printit
   pop {lr}
   bx lr

printit:                    ; Ytterligare subrutin
   ...  ; Lite mer kod här...
   bx lr
```

olämplig/felaktig kod

```
huvudprogrammet         ; Ej fungerande variant
   bl calculate
   ...
calculate               ; En subrutin
   push {lr}
   add r1,r1,r0
   add r1,r1,r2
   cmp r2,r3
   beq printmessage
   mov r3,r0
   pop {pc}

printmessage            ; En till subrutin
   adr r4,errorstring   ; peka på sträng
   bl printit
printit:                ; Ytterligare subrutin
   ...  ; Lite mer kod här...
   b huvudprogrammet
```


Varför den nya versionen är bättre

- En subrutin bör göra enbart en sak och sedan hoppa tillbaka
- Om fler saker behöver göras låt subrutinen ropa på flera andra subrutiner
- Detta angreppssätt möjliggör återanvändning av rutiner
- Enda väg in i en subrutin: BL
- Enda vägen ut ur en subrutin: BX LR
- Alla andra hopp inom subrutin eller huvudprogrammet

```
huvudprogrammet     ; Fungerande variant
   bl calculate
   ...
calculate:                  ; En subrutin
   push {lr}
   add r1,r1,r0
   add r1,r1,r2
   cmp r2,r3
   bne dontprint
   bl printmessage
   pop {pc}

dontprint:
   mov r3,r0
   pop {pc}

printmessage                ; En till subrutin
   push {lr}
   adr r4,errorstring       ; peka på sträng
   bl printit
   pop {lr}
   bx lr

printit:                    ; Ytterligare subrutin
   ...  ; Lite mer kod här...
   bx lr
```

Live demo av ccstudio via thinlinc + ssh

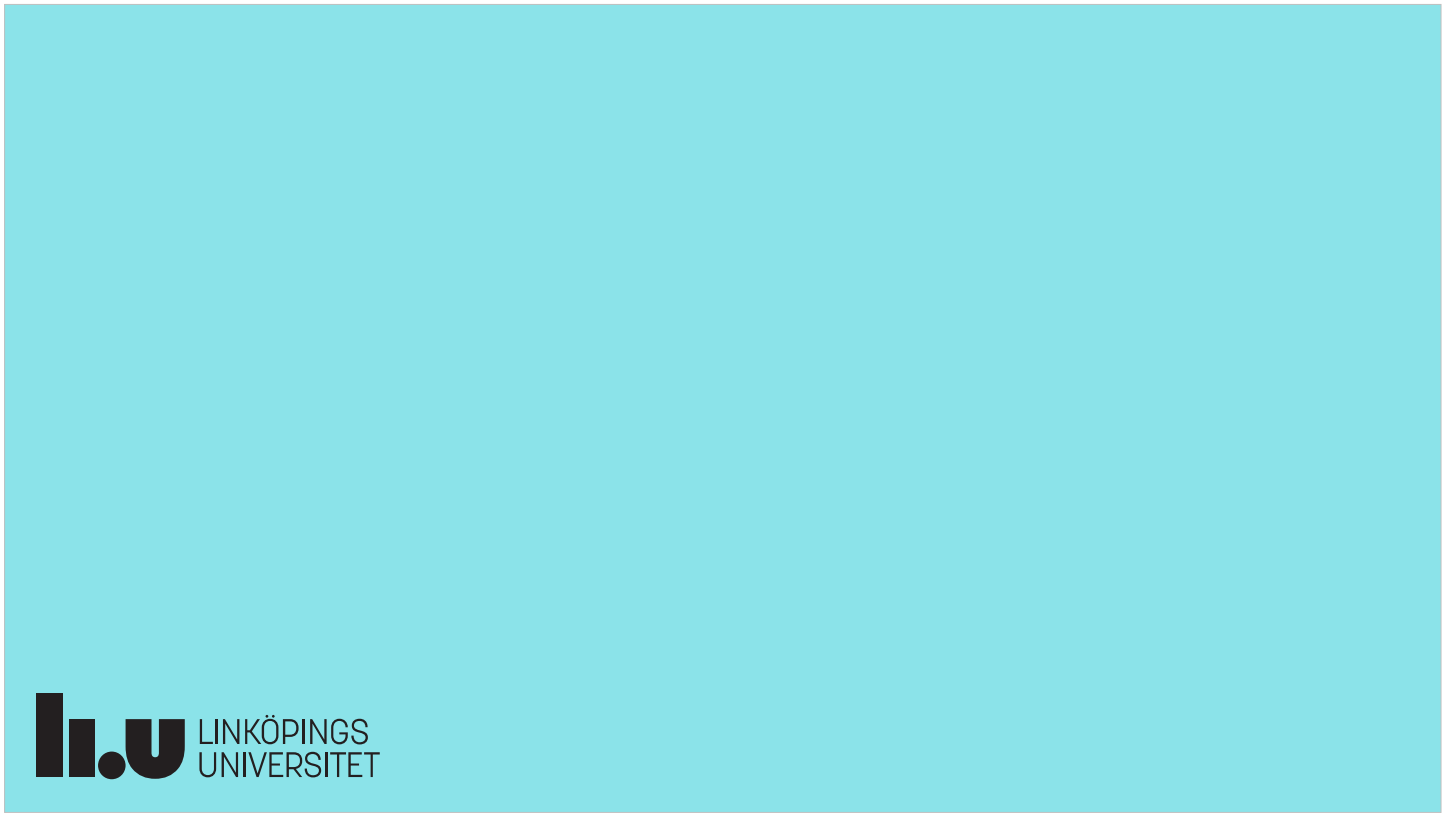
Logga in på thinlink
ssh -X muxen2-103.edu.liu.se } Görs bara on ni INTE är i labbet
module load courses/TSEA28
tsea28active
ccstudio
  Skapa tomt ccsproject
  Lägg till lab1.asm från /courses/TSEA28
    (eller ladda ned frånlabbsidan)
  Editera lab1.asm
  Assemblera lab1.asm

- Titta på inspelning som finns under kursdokument i kursrummet på lisam Labbförberedelse_hemifrån_2021.mp4 (OBS MUXEN2-101 t om MUXEN2-116 numera)

Live demo av Darma (med kort)

Logga in på maskin I MUX1/MUX2
module load courses/TSEA28
ccstudio
  öppna tidigare projekt
  Starta debugläge
  Go main
  Kör programmet
  Undersök register
  Undersök minne
  Ändra register
  Stega igenom
  Sätt brytpunkt

Kommentar: Måste köra initiering av port innan porten kan läsas/skrivas


LINKÖPINGS
UNIVERSITET