TSEA28 Datorteknik Y (och U)

Föreläsning 4

Kent Palmkvist, ISY

Dagens föreläsning

- Olika typer av hopp
- Vanliga programkonstruktioner
- In och utmatning
- Introduktion till ARM Cortex-M (labbdatorn)

Praktiska kommentarer

- Labanmälan lab 1 öppnar Må 22/1 kl 12.45
  - Logga in på Lisam, kursens kursrum (TSEA28_2024VT_SB)
  - Välj länk Anmälan (långt ned till vänster)
  - Ange 2 olika tillfällen (A och B för lab 1)
  - Motsvarande för 4 ytterligare tillfällen (A och B för lab 2 och 3)
- Labbar genomförs i grupper om 1-2 personer/grupp
  - Max 16 grupper per labbtillfälle!
- Datoraccess på plats (MUX1)
  - Labbuppgiften görs på plats med linux-maskiner
  - Kort-access efter alla gjort lab1a
- Labbförberedelse med distansutrustning (MUX2)
  - Ingen fysisk närvaro i labb MUX2
  - Fjärrinloggning till MUX2 beskrivs på
    - www.isy.liu.se/edu/kurs/TSEA28/laboration/Work_at_home.html
    - Video (gammal) finns i lisams kursmaterial

Praktiska kommentarer, forts.

- Tips: Börja läsa igenom labbmaterial redan nu
  - 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
- Manual till labbmaterial (Introduktion till Darma) uppdateras allt eftersom
  - Information för att kunna genomföra lab1 finns i materialet
  - Mer information finns i länkade dokument (ARM och Ti manualer) (se kursmaterialsidan)
  - Skicka gärna kommentarer/frågor via email

Hopp

LINKÖPINGS UNIVERSITET

Olika typer av hopp (DARMA)

- B (Branch)
  - Ovillkorligt (utförs alltid)
- BNE (Branch Not Equal)
  - Villkorligt, hoppa om icke lika (antag jämförelse gjorts innan)
- BEQ (Branch EQual)
  - Villkorligt, hoppa om lika (antag jämförelse gjorts innan)
- BL (Branch and Link)
  - Branch and link, subrutinanrop som sparar var nästa instruktion efter subrutinanropet är
- BX (Branch eXchange)
  - Återhopp från subrutin, återställer PC till värde efter BL-anrop

Relativa och absoluta hopp

- Skillnad mellan absoluta och relativa hopp
  - Brukar finnas både jump (absolut) och branch (relativt)
  - Även möjligt med BSR och JSR (branch respektive jump subroutine)
- Absolut hopp: Adressen i argumentet är adress
  - Exakt den adress som PC ska få när hoppet är utfört
  - Fördel: behöver inte beräknas, kan peka på fast adress även om kod flyttas
- Relativt hopp: argumentet är ett avstånd relativt aktuell PC
  - Argumentet anger hur många steg framåt eller bakåt hoppet ska göras relativt aktuellt adress i PC
  - Fördel: hopp inom rutinen behöver inte ändras även om rutinen placeras på annan plats i minnet

Villkorliga hopp

- Beroende på indata kan vissa hopp betyda olika saker
  - Tvåkomplements data ger annan betydelse hos jämförelse än positiva heltal
  - 1100 > 0100 för positiva heltal (dvs 12 < 4), 1100 < 0100 (dvs -4 < 4) för 2-komplement (samma värden i flaggorna efter subtraktion i båda fallen)
- Villkorliga hopp ofta kombinationer av flaggor
  - BLT (branch less than) antar A-B beräknats, testar om teckenbiten (N) skiljer sig från 2-komplements spill (V) (dvs (N=0 och V=1) eller (N=1 och V = 0))
    - Om A-B beräknats så tas hoppet om A < B (dvs svar korrekt negativt eller spill med positivt svar)
- Ibland kan flera namn finnas på samma operation (ger läsbar kod)
  - Datorn testar bara flaggor, den kommer inte ihåg vilken operation det var som påverkade flaggorna

Olika villkorliga hopp i ARM

Condition Code	Meaning (for cmp or subs)	
EQ	Equal	Z==1
NE	Not Equal	Z==0
GT	Signed Greater than	(Z==0) && (N==V)
LT	Signed Less Than	N!=V
GE	Signed Greater Than or Equal	N==V
LE	Signed Less Than or Equal	(Z==1) || (N!=V)
CS or HS	Unsigned Highter or Same (or Carry Set)	C==1
CC or LO	Unsigned Lower (or Carry Clear)	C==0
MI	Negative (or Minus)	N==1
PL	Positive (or Plus)	N==0
VS	Signed Overflow	V==1
VC	No Signed Overflow	V==0
HI	Unsigned Higher	(C==1) && (Z==0)
LS	Unsigned Lower or Same	(C==0) || (Z==0)

Vanliga programkonstruktioner

Villkorliga hopp, exempel

- Implementera motsvarande pseudokod
  - Antag variabel A i register r0
  - Antag 2-komplementsform

```
start:
  if (A > 42) then
    sekvens1
  else
    sekvens2
done:
```

```
start:                  ; cmp beräknar r0-42, dvs A-42
    cmp r0,#42          ; kan även göra subs r0,#42
                        ; men då förstörs r0 eftersom
                        ; resultatet från subtraktionen
                        ; sparas i r0
    ble notlarger       ; ble är motsats till bgt, alltså
                        ; hoppa om B-A gav ett positivt svar
     :
    sekvens1            ; instruktioner i sekvens1
     :
    b done              ; hoppa till efter if-satsen
notlarger:              ; Början på sekvens2
     :
    sekvens2            ;  Instruktioner som körs of A <= 42
     :
done:                   ; plats för 1:a instruktion efter if-sats
```


Loop, exempel

- Implementera motsvarande pseudokod
  - Antag variabel i R0
  - Antag 2-komplement

```
start:
   while (A < 42) :
     sekvens1
done:
```

```
start:              ; cmp beräknar r0-42, dvs A-42
    cmp r0,#42      ; kan även göra subs r0,#42 men
                    ; då förstörs r0 eftersom resultatet
                    ; sparas i r0 (Beräknar r0-42)
    bge done        ; bge är motsats till bgt, alltså hoppa
                    ; om B-A gav ett positivt svar
     :
    sekvens1        ; instruktioner i sekvens
                    ; (ingen riktig assemblerinstruktion)
     :
    b start         ; hoppa till start av loopsekvensen
done:               ; plats för kod efter loop
```

In och utmatning

Användning av bl i exempeldator

- bl är subrutinanrop som gömmer koden för hur sensorer och display hantera
  - Kallas ibland för drivrutiner (byte hårdvara kräver bara byte av drivrutin)
  - Någon måste fortfarande skriva rutinerna och bygga in gränssnittet i datorn
- Dessa subrutiner är exempel på olika I/O-funktioner
  - Skicka ut data till display
  - Läsa av sensor och låssensor
- Hur?
  - Måste finnas en del i modelldatorn där display och sensorer kan anslutas
  - Värde i minne eller register måste kunna skickas ut, värde från sensor kunna läsas av

In och utdata, speciella instruktioner

- Vissa datorer använder speciella instruktioner för att skicka data in och ut från I/O
  - Kräver extra instruktioner
    - in R,ioadress ; läs av inport nr ioadress och sparar i R
    - out R,ioadress ; skicka värde i R till utport nr ioadress
  - Kräver extra signaler ut från processorn (styrsignaler)
    - Anger om data ska till/från I/O eller minne
  - In och utdata påverkar inte tillgänglig mängd minne
  - Eget adressutrymme för I/O separat från vanligt minne
    - out R,100 ; R:s värde ut på I/O enhet 100, INTE i minne adress 100
    - str R,100 ; skriver till minne adress 100, påverkar inte I/O-enheter

In och utdata, minnesmappad I/O

- Vissa datorer (dom flesta numera) använder speciella minnesadresser för att ta emot och skicka data från/till I/O
  - Kräver inga extra instruktioner eller extra styrsignaler
  - Enkelt att hantera i högnivåspråk (t ex C/C++)
  - Kräver att vissa minnesadresser inte kan användas som vanligt minne
    - Läsning kan ge annat värde än det som skrivs till adressen
- Används av labutrustningen

```
; display finns på adress
; 65532, sensor på 65534

putdisplay:        ; adress 2000
        str R,65532
        bx lr

readsensor:        ; adress 2200
        ldr R,65534
        bx lr
```

Avkodning av minnesmappad I/O

- Exempel: vill ha en I/O-port på adress 0001 0010 0011 0100.
  - Alternativ 1: fullständig avkodning (DARMA)
    - Alla 16 bitarna måste undersökas
    - Kräver stor logisk nät (hårdvara) för att detektera rätt adress (långsamt, dyrt)
    - Numera ganska vanligt (hårdvara billig och snabb)
  - Alternativ 2: ofullständig avkodning
    - Avkoda bara en del av bitarna (t ex bara de första 12)
    - Går snabbare, tar mindre hårdvara
    - Porten hamnar då på alla adresser som börjar med 0001 0010 0011, dvs 16 olika
      - Skrivning till 0001 0010 0011 0100 samma som skrivning till 0001 0010 0011 1100

Kuriosa: Bitbanding (alternativ användning av adressavkodning, finns i labutrustningen…)

- Vissa I/O-register placerade på många adresser
- Del av adressen används för att nollställa vissa bitar när adressen läses
  - Exempel: I/O-port på adress 0x12300-0x123FF (alla adresser pekar på samma port).
  - Bit 9-2 i adressen anger om biten som läses från porten ska nollställas. Dvs bit 9 i adress måste vara 1 för att bit 7 i inläst värde ska vara portens värde. Om bit 9 i adress = 0 så nollställs alltid bit 7 i inläst värde från porten.
  - Exempel: Läsning på adress 0x123c6 kommer nollställa bitarna 7, 6, 5 och 0 i värdet som läses.
  - Orsak till att labbutrustningen läser adress 0x4002507c för port F eftersom bit 7-5 inte kan användas. Alla bitar läses om adress 0x4002503fc används istället.
-

Logiska operationer och deras användning

LINKÖPINGS UNIVERSITET

Logiska operationer

0x42 = hexadecimalt (4*16+2)

- AND R,#value (bitvis AND funktion)
  - Bit för bit and (1 om båda är 1)
  - mov R,#0x23
  - and R,#0x42 ; 00100011 & 01000010 = 00000010
- ORR R,#value (bitvis OR funktion)
  - Bit för bit or (1 om någon eller båda är 1)
  - mov R,#0x23
  - orr R,#0x42 ; 00100011 | 01000010 = 01100011
- EOR R,#value (bitvis Exlusiv OR)
  - Bit för bit xor (1 om endast en bit är 1)
  - mov R,#0x23
  - eor R,#0x42 ; 00100011 ^ 01000010 = 01100001

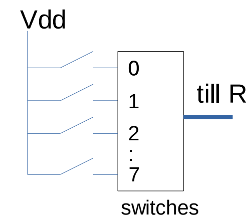
LINKÖPINGS UNIVERSITET

Testa om bit är 0 eller 1

- Kontrollera om specifik bit i indata är =1

```
ldr R,switches    ; läs av många switchar där
                  ; varje switch går till en bit
ands R,#0x04      ; Kontrollera switch kopplad
                  ; till bit 2
                  ; Z-flaggan visar resultat
                  ; Z=0 om bit = 1
bne pressed       ; knappen tryckt (=1), gör något
                  ; annars gör något annat
```

- Värden på andra bitar i inläst värde har ingen påverkan!



Minnesinnehåll switches

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

= 0x04

Sätt en bit till 0 eller 1 eller invertera

- Sätt specifik bit

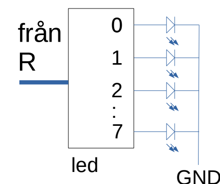
```
ldr R,led      ; läs nuvarande tända lysdioder
orr R,#0x01    ; tänd lysdiod 0 utan att
str R,led      ; påverka övriga lysdioder
```

- Nollställ specifik bit

```
ldr R,led      ; läs nuvarande tända lysdioder
and R,#0xFD    ; släck lysdiod 1 utan att
str R,led      ; påverka övriga lysdioder
```

- Toggla (0->1 eller 1->0) specifik bit

```
ldr R,led      ; läs nuvarande tända lysdioder
eor R,#0x06    ; ändra lysdiod 1 och 2
str R,led      ; uppdatera utsignalen
```

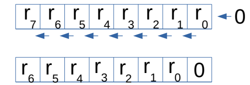


Minnesinnehåll led

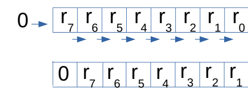
7	6	5	4	3	2	1	0

Skiftoperationer

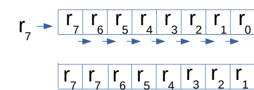
- LSL, Logical shift left
  - Skifta R åt vänster (fyll på med 0 till höger)
  - Motsvarar multiplikation med 2



- LSR, Logical Shift Right
  - Skifta R åt höger (fyll på med 0 till vänster)
  - Motsvarar division med 2 (för positiva heltal)
  - Blir inte rätt för tvåkomplement!



- ASR, Arithmetic Shift Right
  - Skifta R åt höger, kopiera MSB (teckenbit!)
  - Motsvarar division med 2 (för 2-komplement)



Exempel på skiftinstruktioner

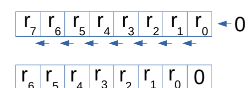
- Argument till shiftinstruktioner anger antal steg
- Antag R = 11001011

  LSL R,#1 => R = 10010110

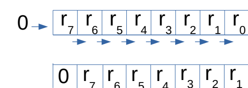
  LSR R,#1 => R = 01100101

  ASR R,#1 => R = 11100101

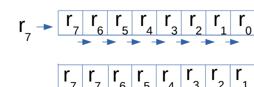
  LSL R,#2 => R = 00101100



LSL



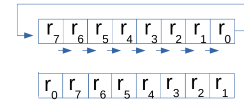
LSR



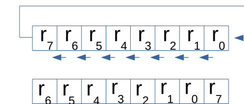
ASR

Rotation

- Rotation höger (ROR)
  - Kopierar ibland in data även i C-flaggan
- Rotation vänster (ROL)
  - ARM saknar separat ROL instruktion
  - Rotation vänster kan fås genom högerrotation 8-n steg för ett 8-bitars register
  - Ex: ROR R,#7 => samma som ROL R,#1 om registret är 8 bitar långt
  - ARM har 32 bitars register => ROL R0, #n = ROR R0, #(32-n)
    - Bytet till ROR sköts av assemblern



ROR



ROL

Andra möjliga instruktioner

- Multiplikation, division
  - I många enklare processorer saknas division (ev. även multiplikation)
- Bitmanipulering
  - Testa och sätt/nollställ enskilda bitar
    - Kan implementeras med vanlig and/or istället
- Se kapitel i Introduktion till Darma eller ARM:s manual
  - Många fler som jag inte kommer presentera nu
  - Vissa kommer diskuteras i samband med metoder för snabbare exekvering av program

Labbutrustningen DARMA, ARM Cortex-M

ARM processorer

- Flertal processorvarianter utvecklade under många år
  - Cortex-A för applikationer (t ex i mobiltelefoner, Rpi etc.)
  - Cortex-M för styrning och liknande (microcontroller)
  - Cortex-R för säkerhetsapplikationer (router, etc.)
- Samma grundläggande instruktionsuppsättning
  - 32-bitars instruktionsuppsättning, finns även en 64-bitars version av Cortex-A (t ex i RPi3 och Rpi4)
- Varje instruktion 32-bitar lång
  - 16 generella register R0-R15, varav flera har speciell funktion
  - R15 = programräknare, R14 = stackpekare, R13 = länkregister

ARM processorer, forts.

- Instruktionsbeskrivning
  - Operation rd, rn, operand
  - Operand kan vara konstant eller annat register
- 3 operander! Destination, källa1, källa2
  - Om 2 operander anges antas rd = rn
- Exempel
  - Add r3, r4, #3 ; beräkna r4+3, spara resultat i r3
  - Add r4,#3 ; beräkna r4+3, spara resultat i r4
  - Add r1,r2,r3 ; beräkna r2+r3, spara resultat i r1

ARM instruktionsuppsättning

- 2 typer av instruktionsuppsättningar hos ARM processorer
  - ”Standard” ARM
    - Ofta exempel på nätet
    - Används t ex i Raspberry pi
  - Thumb (detta används i Cortex-M, dvs DARMA) för kompaktare kod (mindre programminne pga 16-bitar långa instruktioner)
- Vissa modeller har även utökade instruktionsuppsättningar
  - Flyttal (decimaltal/float/double/real) (DARMA, men vi använder den inte)
  - DSP (signalbehanding)
  - SIMD (samma operation på många data samtidigt)

THUMB instruktionsuppsättning

- Kompaktare kod
  - Varje instruktion är 16 eller 32 bitar lång (vanlig ARM alltid 32 bitar lång)
  - Vissa versioner av instruktioner finns inte i Thumb
- Cortex-A kan växla mellan Thumb och ARM instruktionsuppsättning i samma program
  - Välj mha LSB (minst signikant bit) i hoppadress
  - Instruktionerna startar i alla fall på jämn adress
- Cortex-M (dvs labbutrustningen) kan bara köra Thumb instruktionsuppsättning

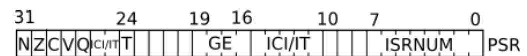
ARM Cortex M familjen

- Flera versioner finns tillgängliga (M0, M1, ... M7)
  - Samma maskinkod
    - Kod för en processor kan köras direkt i en annan processor (om specialfunktioner/specialinstruktioner undviks)
  - Olika prestanda (snabbare men större och mer effektförbrukning)
    - M0: minimal
    - M7: Snabb
  - Olika extra funktioner
    - Enhet för flyttalsberäkningar, support för signalbehandlingsinstruktioner
- Labbutrustningen har en Cortex M4F, dvs medelsnabb med stöd för flyttal

Register i Cortex M familjen

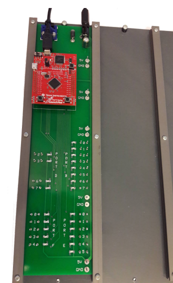
- R0 till R15
  - 32-bitars dataregister
  - R13 = SP (stackpekare)
  - R14 = LR (länkregister)
  - R15 = PC (programräknare)
- PSR
  - 32-bitars statusregister med flaggor (+ statusbitar)

R0
R1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
R8
R9
R10
R11
R12
R13 (SP)
R14 (LR)
R15 (PC)
PSR



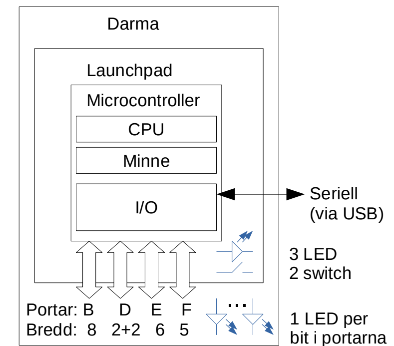
Laborationssystemet Darma

- Fysisk vy
  - Röda kretskortet längst upp innehåller processorn (TiVA C LaunchPad)
  - Resten är strömförsörjning och möjligheter att koppla in andra enheter, samt indikering av värde på anslutningarna
- Ansluts via USB-port till linuxdator
  - Både programmering och styrning
  - Även en seriekommunikationskanal



Laborationssystemet Darma, mikrokontrollern TM4C123G

- CPU: ARM Cortex M4 processor
  - 32 bitar databuss, 32 bitars addressbuss
  - 16 MHz klocka (ca 50-150 ggr långsammare än en smartphone)
- Minne på kretsen
  - RAM (läs och skrivbart) 32 Kbyte
  - FLASH (endast läsbart) 256 KByte
- I/O-enheter
  - Parallellport, programmerbara anslutningar (val av in eller ut)
  - Serieport (många...)
  - Många fler (I2C, USB, timers, PWM etc.)



Microcontroller = enklare enchipsdator med processor, minne och I/O

Darma minneskarta

- 256 KB FLASH-minne (CPU kan bara läsa)
  - 0x00000000 - 0x0003FFFF programmeras från PC
  - Innehåller programkod
- 32 KB RAM (CPU kan läsa och skriva)
  - 0x20000000 - 0x200001FF stack
  - 0x20000200 - 0x20007FFF plats för variabler etc.
- I/O-kretsar, data och konfiguration
  - 0x4000C000 - 0x4000CFFF Serieport (skicka/ta emot text till/från dator)
  - 0x40004000 - 0x40005FFF GPIO (parallellport) Port B
  - 0x40025000 - 0x40025FFF GPIO (parallellport) Port F
- De flesta adresser används inte
  - Vissa adresser kan skada hårdvara?
    - Inte i denna design, men möjligt i andra

Adress	Område
00000000 - 0003FFFF	ROM (FLASH)
20000000 - 20007FFF	RAM
40000000 - 43FFFFFF	IO-enheter GPIO A-F UART mm.
E0000000 - E00FFFFF	Intern IO

Programmeringsmiljö Code Composer Studio

- Komplett IDE (Integrated Development Environment)
  - Editering av källkod
  - Kompilering/assemblering/länkning av program (programmets bitmönster)
  - Programmering av minnet i Darma
  - Kommunikation med seriell anslutning över USB
  - Debugstöd, t ex köra en instruktion åt gången, undersöka registervärden etc.
- Bygger på eclipse

Code composer studio, forts.

- Vid start väljs ett workspace
  - Anger var filer ska hamna i filsystemet
  - Olika projekt placeras i samma workspace
- Varje program som ska skrivas placeras i ett eget projekt
  - Samlar ihop nödvändiga filer och definitionsfiler
  - Håller ordning på vilka filer som ändrats och vad som behöver assembleras/kompileras eller länkas.
  - Använd ett projekt för varje deluppgift, t ex lab1_grundversion och lab1_utbyggd

Assemblering, länkning, programmering

- Översättning av assemblerkod sker i flera steg innan Darma programmeras
  - Varje steg producerar meddelanden i loggfönster
  - Programkod läggs automatiskt till för att initiera darma (t ex sätter stackpekare)
    - tm4c123gh6pm_startup_ccs.c, boot.asm
- Assemblering/kompilering
  - Översätt källkodstext från .asm fil respektive .c fil till objektformat (ett mellanformat utan absoluta adresser)
  - Flera olika .asm-filer och .c-filer kan assembleras/kompileras
- Länkning
  - Kombinera ihop alla assemblerade filer, bestäm på vilka adresser allt ska hamna
  - Kan även inkludera kompilerad C-kod etc.

Assemblerfilens uppbyggnad

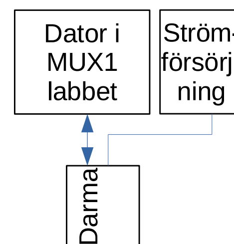
- Till alla labbar finns en mallfil som innehåller definitioner och initiering
  - Måste läggas till projektet ni ska jobba med
  - Olika mallfil beroende på vilken labb
  - Hämtas i filsystemet/laddas ned och importeras sedan in i aktuella projektet
- Assemblerprogrammet förväntas startas på platsen main:
  - Mallen innehåller sedan en del subrutiner som ni behöver anropa
    - Inituart: sätt igång seriekommunikation så utskrift kan fås på dator
    - InitGPIOF, initGPIOB: initiera portar så data kan hämtas och skickas
  - Definitioner av adresser till I/O-enheter etc finns också
    - GPIOF_GPIODATA: port F dataregister

Styrkommandon till assemblern

- Instruktioner i .asm-filen som inte motsvarar instruktioner till processorn
  - Beskriv förväntad form av kod (Thumb)
    .thumb
  - Placera assemblerad kod i Flash-minnet (ROM)
    .text
  - Starta på en jämn adress
    .align 2
  - Ange att platsen main definieras i denna fil så man från andra filer hittar den vid länkning
    .global main

Att komma igång

- På laborationshemsidan finns dokumentet ”Introduktion till Darma”
  - Beskriver allt som behövs för att använda Darma
  - Labbarna fortsätter utvecklas, nya versioner av dokumentet kan komma att läggas ut under kursens gång.
    - Skicka gärna mail med frågor/kommentarer
- Logga in på en maskin i MUX2, öppna terminalfönster
  - Ladda modulen courses/TSEA28
  - Kör tsea28_active för att kontrollera att ingen annan redan använder maskinen
  - Starta med ccstudio
  - Video på lisam visar alla steg
- Hemma eller thinlinc (maskin utan Darmakort/TiVA C Launchpad)
  - Kan editera och kompilera, men inte simulera/köra
  - Ladda hem programvaran från www.ti.com/ccs



Programmering av Darma

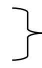
- Programmering av Flashminnet görs varje gång övergång till debugläge görs
  - Kompilering/assemblering/länkning görs automatiskt om det behövs
  - Programmet ligger kvar i Darma tills nytt program laddas in
- Exekvering av program
  - Gå först till main:
    - Initieringsrutinerna från boot.asm kan inte stegas igenom
  - Kör sedan med Resume (F8, eller grön playknapp)
  - Körning kan stoppas när som helst med Suspend (Alt-F8, eller paussymbol)
  - Lämna körning med Terminate (röd stoppknapp), återgår till editering och kompilering/assemblering/länkning

Felsökning/test i ccstudio (med Darmakort)

- Kan ändra minne, register etc
  - Lägg till olika vyer mha Window->Show view
- Kan stega instruktion för instruktion (step into)
  - Kan även stega subrutin för subrutin (step over)
- Sätt brytpunkter för att automatiskt stanna när den instruktionen ska utföras
  - Dubbelklicka på radnumret i kodfönstret

Live demo av ccstudio via thinlinc + ssh

Logga in på thinlink
ssh -X muxen2-103.edu.liu.se



Görs bara om ni INTE är i MUX1-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

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