TSEA28 Datorteknik Y (och U)

Föreläsning 8

Kent Palmkvist, ISY

LINKÖPINGS UNIVERSITET

Dagens föreläsning

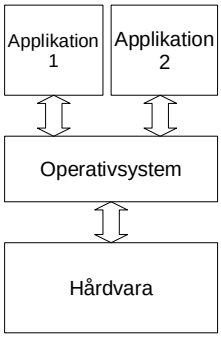
- Minneshantering, virtuellt minne
- Ett större exempel av signalbehandlande system
  - Optimering av kod
  - Nya instruktioner
- Jämförelse med andra processorfamiljer
  - Instruktionsuppbyggnad, maskinkod
- Prestandajämförelser

Praktiska kommentarer

- Labutrustning i MUX1 tas bort under tentaperioden
  - Labbet används i andra kurser
  - Distansutrustning kommer finnas kvar i MUX2
- Extra redovisningstillfälle för Lab 1-3 under omtentaperiod i Juni

Funktion hos operativsystem

- Operativsystem hanterar hårdvara och gömmer detaljer från användaren
  - Ger illusionen av att flera saker sker samtidigt
  - Delar på resurser så att alla användare får tillgång till dom
  - Applikationen ska inte behöva veta alla detaljer om hårdvaran
- Säkerhet
  - Användarprogram får inte krascha datorn (stänga av funtioner, störa andra program)
- Flera program
  - Förra föreläsningen visade enkelt sätt
    - Avbrott för att byta till nästa program
    - Krävde olika adresser till varje program (inte bra)



Add dela minne

- Grundläggande resurs: Minne
- Programmets placering i minnet styrs av operativsystemet
  - Laddar in program från sekundärminne (hårddisk, SSD, eller liknande)
- Varje program vill ha tillgång till minne utan att bry sig om andra programs behov
  - Operativsystemet ska hantera tillgängligt minne
  - Programmet begär viss mängd minne från operativsystemet och får en adress tillbaks
  - Programmet lämnar tillbaks minne till operativsystemet när uppgiften är klar

Flertal problem behöver lösas: Säkerhet

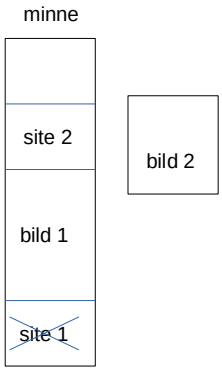
- Säkerhet
  - Olika program ska inte se varandras (eller operativsystemets) minnesinnehåll
- Placering av program i minnet
  - Alla program behöver se samma startadress etc.
- Tillgång till stora mängder kontinuerligt adressutrymme
  - Program vill kunna allokera stora datastrukturer
- Behövs hårdvarulösningar till dessa problem

Flertal problem behöver lösas: Säkerhet

- Säkerhet
  - Olika program ska inte se varandras (eller operativsystemets) minnesinnehåll
- Exempel dålig säkerhet
  - Du kör din internetbank
  - Ett annat program som startats av någon annan (virus/malware). Detta program tittar i minnet på din webläsare
  - Stor risk att nycklar och passord hittas, t ex tangentbordbuffertar, lokala variabler etc.
- Måste kunna skydda minnesareor från olika användare
  - Varje användares minne ska bara vara tillgängligt för denna användare och för operativsystemet

Flertal problem behöver lösas: Fragmentering

- Även om datorn har tillräckligt med minne jämfört med hur mycket minne varje program behöver så räcker inte det
- Exempel (webbläsare och bildvisare kör samtidigt)
  - Webbläsare allokerar minne för site 1 (20% av totalt)
  - Bildvisare allokerar minne för bild 1 (40% av totalt)
  - Webbläsare allokerar minne för site 2 (20% av totalt)
  - Webbläsare stänger site 1 (totalt 60 % allokerat)
- Bildvisare allokerar minne för bild 2 (30%) <- går inte
  - 40% finns tillgängligt, men delat på två ställen
- Minnesfragmentering!

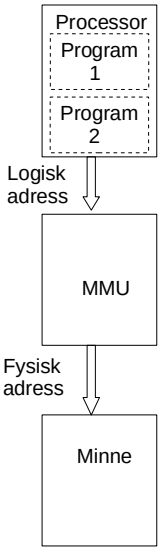


Minnesskydd

- Lägg till funktion (hårdvara) som spärrar tillgång till vissa adresser för andra program
  - Minska risken att ett urspårat program skriver över någon annans data
  - Ta bort möjlighet för fel program läsa känslig information
- Lägg till skrivskydd på vissa minnesytor
  - Kan dela kod utan risk för påverkan
  - Vanligt för standardbibliotek (subrutiner) i datorer
- Val av vilka områden som är tillgängliga styrs av operativsystemet

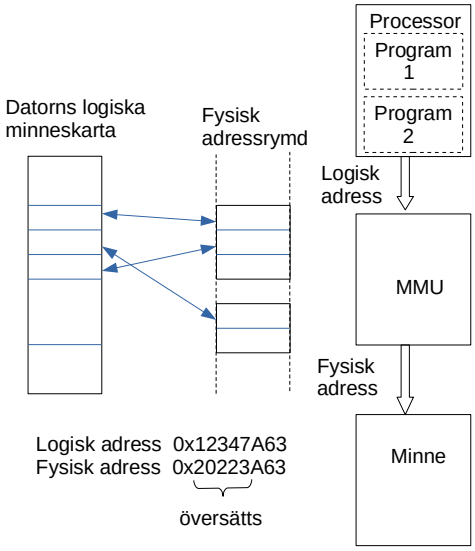
Lösning på säkerhet, minnesskydd och fragmenteringsproblemet

- Memory Management Unit (MMU)
  - Håller ordning på vilket program har tillgång till vilken minneyta
  - Varje program ser en logisk beskrivning av minnesrymden
- Skydda vissa minnesytor mot skrivning av program
- Kan döpa om adresser
  - Flera program kan se det som att dom skriver på adress 0x1000
  - Inga problem samla ihop minnesdelar till stor sammanhållen adressrymd
- Operativsystemet ställer in översättningstabellerna i MMU när program byts



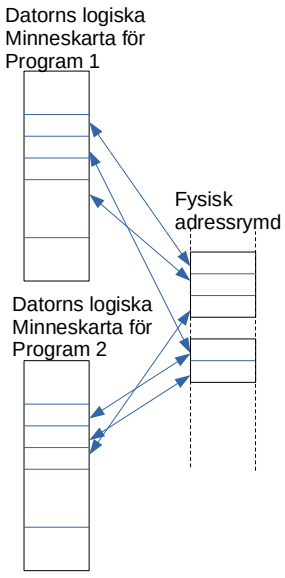
MMU funktion

- Se fysiskt minne som byggblock
  - T ex 4 KByte stora områden (12 addressbitar)
- MMU översätter logisk adress till fysisk adress
  - Högsta adressbitarna väljer vilket block (20 bitar)
  - Lägre bitar används direkt till minnet



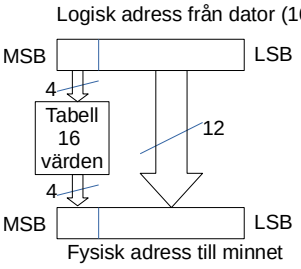
Fördelar med MMU

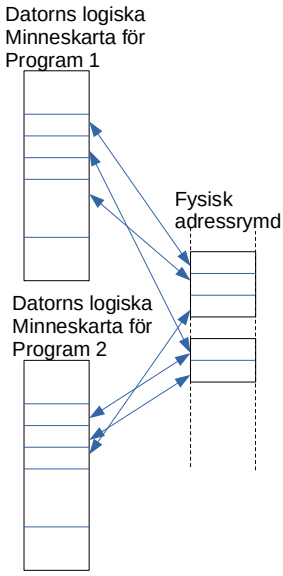
- Minnesmängd och logiskt minnesutrymme behöver inte matcha varandra
- Slå ihop minnesfragment till sammanhängande minnesytor
- Minnesskydd, tillåt bara en användare komma åt speciella fysiska minnesområden
- Dela minne mellan användare
  - subrutinbibliotek, datastrukturer
- Slipper ändra adresser i programmet (alla program tillåts börja på samma logiska adress)



Litet exempel på MMU-funktion

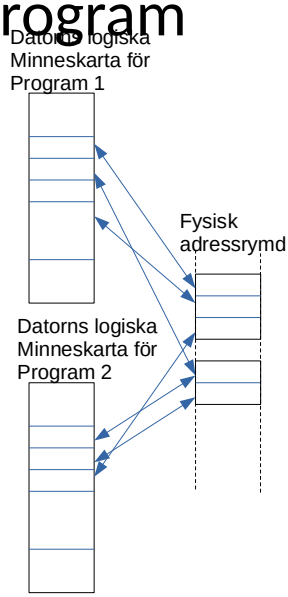
- Antag 16-bit adress (65536 adresser), 16 olika minnesblock
  - Varje block är 4 Kbyte (65536 / 16)
  - Översätt bara 4 MSB bitar av 16-bitars adress ($16 = 2^4$)
- En tabell för varje program
  - Operativsystem byter tabell när nästa program får köra





Litet exempel på MMU-funktion, 2 program

- Fysisk position för data och program
  - Program1 adress 0x2000, Program2 adress 0x3000
  - Subrutiner adress 0x4000
  - Program1 data area adress 0x5000, Program2 data area adress 0x8000
- Logisk adress förväntad av programmet (samma för båda)
  - Körs på adress 0x1000, subrutiner på adress 0x2000, data på adress 0x6000
- Två olika minneskartor, en för varje program



Litet exempel på MMU-funktion, forts.

- 16 positioner i översättningstabellen (4 bit)
  - Programmet skrivs för den logiska minneskartan
  - Exempel program1 (logisk start 0x1000)
    - Fysisk start 0x2000

```
mov r0,#0x6330    ; data från fysisk 0x5330
ldr r1,[r0]
bl 0x2010         ; subrutinanrop till 0x4010
b 0x1003          ; hopp till 0x2003
```

  - Program 2: (fysisk start 0x3000)
- Välj rätt tabell beroende på vilket program ska köra
  - Väljs av operativsystemet

Prog1. MMU

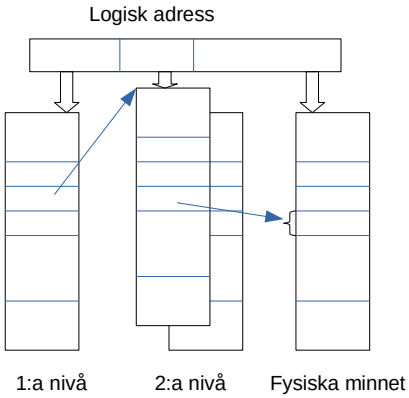
Adr	Data
0	
1	2
2	4
:	
6	5
:	
F	

Prog2. MMU

Adr	Data
0	
1	3
2	4
:	
6	8
:	
F	

Översättningstabeller för större processorer

- Antag 32-bitar adress, 4KByte block (12 bitar)
  - 20 bitars översättning => väldigt stor tabell
  - 1 miljon entries, dyr och långsam
  - Inte alla program behöver alla adresser
- Praktiskt system delar upp tabellen i två hierarkiska nivåer
  - 10 bitar topnivå
  - 10 bitar mindre tabell
- Också vanligt ha större minnesblock
  - Large och Huge pages (upp till 1GB block)



Expanderad MMU funktion

- Ge avbrott till operativsystemet om referens till tabellrad utan innehåll (page fault)
  - Starta med en tabell för ett program med bara programminnet allokerat
  - Allokera av befintligt minne för att ge program minne bara när dom behöver det
- Kombinera tabelluppslagning med information om det är skrivning
  - Kan få avbrott om försöker skriva till skrivskyddat område
  - Om skrivning görs till delat minnesområde (delat mellan två program) skulle en kopia kunna skapas som programmet skriver till istället

Ge program mer minne än det finns (swap)

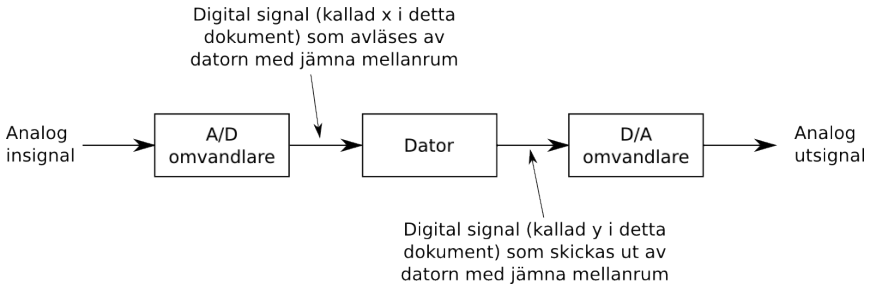
- Använd sekundärminne för att lagra minnesinnehåll som inte används just nu
  - Andra program som inte körs
- Om ett annat program ska fortsätta som placerats på sekundärminnet: flytta tillbaks det till primärminnet
  - Kan kräva mycket läsning/skrivning vid programbyte
- Om ett program använder mer minne än som finns
  - Flytta delar av minnet som programmet inte använt på ett tag till sekundärminne
  - När en adress ska användas som är markerad som utflyttad till sekundärminnet så hämtas den
    - Kan ge väldigt mycket trafik till sekundärminnet

Ett större programexempel

- Hur omskrivningar av kod kan öka prestanda

Ett större programexempel, signalbehandling

- Signalbehandlingsexempel
  - Filtrering av en signal
  - Se länk från föreläsningstabellen för mer information
- Generell struktur



Ett större exempel, forts.

- Antag vi vill bygga ett filter som implementerar

$$y[n]=\sum_{i=0}^{N} x[n-i]b_i$$

  - Antag b = [-0.0448 0.1659 0.8105 0.1659 -0.0448]
  - Lagra koefficienterna i b i en minnesarea coefficients (multiplicerade med 2^15 för att få heltal)
  - Data är 16-bitars värden (2 byte var)
- Antag 100 sampel som ska filtreras per gång är lagrade i en minnesarea 0x20001000 - 0x200013EC
  - 4 extra insampel för att skapa 100 utsampel
- Antag resultatet ska lagras i minnesarea 0x20002000 - 0x200023E8
- Totalt 0x10000 (= 65536) block ska filtreras

Ett större exempel, kodstruktur

- Initiera addresspekare (R5, R6), sampelräknare (R4) samt blockräknare (R3)
- Loop över alla sampel
  - Sätt koefficientpekare R7 till start av koefficienter
  - Nollställ mellanresultat (R2)
  - Loop över alla koefficienter
    - Multiplicera sampel med koefficient => R0
    - Addera till mellanresultat (R2)
    - Hoppa ur loop om adresspekare = coefficient_end
  - Dividera med 2^15 (för att få multiplikation med 0.0448 etc), spara resultat i ut
  - Räkna ned sampelräknare (R4), ta nästa sampel om inte slut
- Räkna ned block (R3), om alla block klara returnera, annars ta nästa block

Större kodexempel, initieringskod

- Initiera addresspekare (R5, R6) och sampelräknare (R4)

```
        mov  r3,#0x10000       ; Antal block som ska filtreras
start:
        mov  r5,#(InData & 0xffff)     ; Indataadress
        movt r5,#(InData >> 16)
        mov  r6,#(OutData & 0xffff)  ; Outdataadress
        movt r6,#(OutData >> 16)
        mov  r4,#100      ; Antal sampels
```


Filter version 1

```
        mov  r3,#0x10000       ; Antal block som ska filtreras
start:
        mov  r5,#(InData & 0xffff)     ; Indataadress
        movt r5,#(InData >> 16)
        mov  r6,#(OutData & 0xffff)  ; Outdataadress
        movt r6,#(OutData >> 16)
        mov  r4,#100      ; Antal sampels

inner_loop:
        adr   r7,coefficients     ; Koefficienter för filtret finns här
        adr   r8,coefficients_end
        mov  r2,#0                ; Nollställ ackumulator

sample_loop:
        ldrsh r0,[r5],#2    ; läs 16 bitar (2 byte) 2-komplement, r5=r5+2
        ldrsh r1,[r7],#2    ; Läs 16 bit koefficient
        mul   r0,r1,r0      ; multiplicera (16bit x 16bit ger 32 bit resultat)
        add   r2,r2,r0
        cmp   r7,r8         ; Testa om använt alla koefficienter
        beq   sample_ready
        b     sample_loop

sample_ready:
        asr   r2,#15              ; Dividera med 2^15
        strh  r2,[r6],#2    ; Spara 16 bit resultat i utbuffert
        sub   r5,r5,#8      ; Justera a0 så den pekar på nästa
                            ;     sampel med indata
        subs  r4,r4,#1      ;  Räkna ner loopräknaren
        bne   inner_loop
        subs  r3,r3,#1      ; nästa block att räkna på
        bne   start

stoploop:
        b     stoploop
coefficients.field -1448,16
        .field 5437,16
        .field 26559,16
        .field 5437,16
        .field -1448,16
coefficients_end
InData      .equ  0x20001000
OutData     .equ  0x20002000
```

Olika instruktioner tar olika lång tid

- Klockfrekvens
  - Dubbel klockfrekvens betyder inte dubbel prestanda
  - Vanligt mått: IPC (Instruction Per Clockcycle)
- Antal minnesläsningar/skrivningar
  - Kan 32 bitar läsas på en gång?
  - Hur snabbt är minnet?
- Hur lång är instruktionen (antal byte)
  - Mer eller mindre tid att hämta instruktionerna
- Villkorliga hopp kan ta olika lång tid beroende på om villkoret är sant eller falskt

Prestanda filter v1

- Exekveringstid ca 21 sekunder på Darma
  - Inte optimerat, kan göras bättre
- Vad tar onödig tid (instruktioner i loop är dyrast)
  - Vanligaste hoppet tas inte (jämför, hoppa inte, hoppa)

```
        cmp     r7,r8
        beq sample_ready
        b   sample_loop
sample_ready:
```

  - Bättre lösning

```
        cmp     r7,r8
        bne sample_loop
sample_ready:
```

Filter version 2

- Vanligaste hoppet är det första som testas
- Programmet aningen mindre (2 byte kortare)
  - 1 instruktion borttagen (bra inner_loop)
- Exekveringstid
  - Ca 19 sekunder (liten förbättring)

```
inner_loop:
        adr     r7,coefficients
        adr     r8,coefficients_end
        mov     r2,#0
sample_loop:
        ldrsh   r0,[r5],#2
        ldrsh   r1,[r7],#2
        mul     r0,r1,r0
        add     r2,r2,r0
        cmp     r7,r8
        bne     sample_loop
sample_ready:
        asr     r2,#15
        strh    r2,[r6],#1
        sub     r5,r5,#8
        subs    r4,r4,#1
        bne     inner_loop
        subs    r3,r3,#1
        bne     start

stoploop:
        b       stoploop
coefficients .field: -1448,16
        .field  5437,16
        .field  26559,16
        .field  5437,16
        .field  -1448,16
coefficients_end:
InData      .equ   0x20001000
OutData     .equ   0x20002000
```


Förbättringar filter version 2

- Titta på vanligaste operationerna

```
ldrsh   r0,[r5],#2
ldrsh   r1,[r7],#2
mul     r0,r1,r0
add     r2,r2,r0

cmp     r7,r8
bne     sample_loop
```

- Vad tar onödig tid
  - Test av slut på loop är ”onödig” (2 av 6 instruktioner)
  - Kopiera istället instruktionerna motsvarande antal
  - Tekniken kallas Loop unrolling
    - Enklast om fixt antal varv i loop

```
inner_loop:
        adr     r7,coefficients
        adr     r8,coefficients_end
        mov     r2,#0
sample_loop:
        ldrsh   r0,[r5],#2
        ldrsh   r1,[r7],#2
        mul     r0,r1,r0
        add     r2,r2,r0
        cmp     r7,r8
        bne     sample_loop
sample_ready:
        asr     r2,#15
        strh    r2,[r6],#1
        sub     r5,r5,#8
        subs    r4,r4,#1
        bne     inner_loop
        subs    r3,r3,#1
        bne     start

stoploop:
        b       stoploop
coefficients .field: -1448,16
        .field  5437,16
        .field  26559,16
        .field  5437,16
        .field  -1448,16
coefficients_end:
InData      .equ   0x20001000
OutData     .equ   0x20002000
```

Filter version 3

- Programmet växer i storlek
- Exekveringstid: 17 sekunder (10%)

```
        mov  r3,#0x10000
start:  mov  r5,#(InData & 0xffff)
        movt r5,#(InData >> 16)
        mov  r6,#(OutData & 0xffff)
        movt r6,#(OutData >> 16)
        mov  r4,#100

inner_loop:
        adr  r7,coefficients
        adr  r8,coefficients_end
        mov  r2,#0
sample_loop:
        ldrsh r0,[r5],#2
        ldrsh r1,[r7],#2
        mul  r0,r1,r0
        add  r2,r2,r0
        ldrsh r0,[r5],#2
        ldrsh r1,[r7],#2
        mul  r0,r1,r0
        add  r2,r2,r0
        ldrsh r0,[r5],#2
        ldrsh r1,[r7],#2
        mul  r0,r1,r0
        add  r2,r2,r0
        ldrsh r0,[r5],#2
        ldrsh r1,[r7],#2
        mul  r0,r1,r0
        add  r2,r2,r0
sample_ready:
        asr  r2,#15
        strh r2,[r6],#1
        sub  r5,r5,#8
        subs r4,r4,#1
        bne  inner_loop
        subs r3,r3,#1
        bne  start

stoploop:
        b    stoploop
coefficients.field -1448,16
        .field 5437,16
        .field 26559,16
        .field 5437,16
        .field -1448,16
coefficients_end
InData      .equ  0x20001000
OutData     .equ  0x20002000
```


Förbättring, filter version 4

- Koefficienterna alltid samma
  - Läs in dom i register innan loop
- Fungerar bäst för beräkningar med fixa värden och få konstanter
  - 5 koefficienter men bara 3 olika värden
- Ta bort konstanttabellen
  - Inre loop kortare
- Exekveringstid 13 sekunder (-23%)

Filter version 4

- Allt svårare öka prestanda
  - Det mesta av tiden spenderas på ldrsh, mul och add

```
        mov  r3,#0x10000
start:  mov  r5,#(InData & 0xffff)
        movt r5,#(InData >> 16)
        mov  r6,#(OutData & 0xffff)
        movt r6,#(OutData >> 16)
        mov  r4,#100

inner_loop:
        mvn  r7,#~(coeff1+1) ; negativt värde
        mov  r8,#coeff2
        mov  r9,#coeff3
        mov  r2,#0

        ldrsh r0,[r5],#2
        mul   r0,r7,r0
        add   r2,r2,r0
        ldrsh r0,[r5],#2
        mul   r0,r8,r0
        add   r2,r2,r0
        ldrsh r0,[r5],#2
        mul   r0,r9,r0
        add   r2,r2,r0
        ldrsh r0,[r5],#2
        mul   r0,r8,r0
        add   r2,r2,r0
        ldrsh r0,[r5],#2
        mul   r0,r7,r0
        add   r2,r2,r0

        asr   r2,#15
        strh  r2,[r6],#1
        sub   r5,r5,#8
        subs  r4,r4,#1
        bne   inner_loop
        subs  r3,r3,#1
        bne   start

stoploop:
        b     stoploop
coeff1  .equ  -1448
coeff2  .equ  5437
coeff3  .equ  26559
InData  .equ  0x20001000
OutData .equ  0x20002000
```


Filter version 5

- Några saker kan förbättras
  - En instruktion som kombinerar add och mult

    mla r2,r0,r7,r2 ; [r2,r0] = r7 * r2, dvs 32 LSB-bitar i r0, 32 MSB-bitar i r2
- Exekveringstid: 12s

```
        mov  r3,#0x10000
start:  mov  r5,#(InData & 0xffff)
        movt r5,#(InData >> 16)
        mov  r6,#(OutData & 0xffff)
        movt r6,#(OutData >> 16)
        mov  r4,#100

inner_loop:
        mvn  r7,#~(coeff1+1)
        mov  r8,#coeff2
        mov  r9,#coeff3
        mov  r2,#0

        ldrsh r0,[r5],#2
        mla   r2,r7,r0,r2
        ldrsh r0,[r5],#2
        mla   r2,r8,r0,r2
        ldrsh r0,[r5],#2
        mla   r2,r9,r0,r2
        ldrsh r0,[r5],#2
        mla   r2,r8,r0,r2
        ldrsh r0,[r5],#2
        mla   r2,r7,r0,r2

        asr   r2,#15
        strh  r2,[r6],#1
        sub   r5,r5,#8
        subs  r4,r4,#1
        bne   inner_loop
        subs  r3,r3,#1
        bne   start

stoploop:
        b     stoploop
coeff1  .equ  -1448
        .equ  5437
        .equ  26559
InData  .equ  0x20001000
OutData .equ  0x20002000
```

Ytterligare möjliga förbättringar

- Använd instruktion som adderar och multiplicerar två 16-bitars tal direkt

  SMLAD rx,ry,rz,rw

  - Beräknar rx = (ry[31:16]*rz[31:16])+(ry[15:0]*rz[15:0])+rw
  - Kräver annorlunda hantering av konstanter
  - Kombinera två konstanter i ett register
    - T ex använd

      movt rx,#16-bit
    - Placera 16-bitars konstant i rx[31:16]
- Allt svårare hitta förbättringar
  - Allt mer processorspecifika förbättringar (svårt flytta kod till annan processorfamilj)

Andra möjligheter till snabbare exekvering

- Ytterligare förbättringar kan göras
- Kräver detaljerad kunskap om Cortex M4 och hur den utför instruktioner
  - Måste veta hur lång tid varje instruktion tar
    - Kan bero bl a på adresseringsmod
- Stort antal andra instruktioner att undersöka
  - Villkorlig exekvering
  - Bitfältsoperationer

Andra alternativ till förbättring, forts.

- Andra alternativ bygger på förändringar/byte av algoritmen
  - För den intresserade: Googla på FFA (Fast Fir Algorithm)
    - Kan vara intressant att använda t ex FFT (Fast Fourier Transform)
  - Byta multiplikation mot flera additioner
    - Exempel: b0=b4 => b0*x(n)+b4*x(n-4) = b0*(x(n)+x(n-4))
  - Ändra beräkningsordning för att undvika läsning av samma minnesvärde flera gånger
    - Läs en gång till register och multiplicera sedan med alla olika koefficienter (resultat i olika register)

Slutsats om prestandaökning

- Går ofta att förbättra (till en viss gräns)
  - I exemplet: 21 sekunder -> 12 sekunder
  - En kraftig minskning! (40%)
- Prestandaökning inte gratis
  - Ökad mängd kod
  - Mindre flexibilitet
    - Svårt öka antal koefficienter
    - Fungerar kanske bara på en processormodell
  - Svårare förstå kod

Slutsats om prestandaökning, forts.

- En del av förbättringarna är svåra att generera automatiskt vid kompilering av högnivåspråk
  - Extrem prestanda kräver ibland assemblerprogrammering
- Kompilatorns kvalitet viktig
  - Översätter högnivåspråk till assembler
  - Som synes finns många val, kompilatorn måste vara bra på att hitta lösningar som ger snabb kod
- Nästa processorgeneration kan ha helt andra egenskaper
  - Nya instruktioner som löser delproblem bättre
  - Bredare/snabbare minnebuss
  - Fler register

Prestanda hos andra processorfamiljer

- Hastighet att utföra instruktioner endast en av flera intressanta egenskaper
  - Beror på tänkt tillämpning
  - Kostnadsmått varierar
    - Exekveringshastighet, programstorlek, stöd för datatyper och operationer
- Hastighetskrav för avbrott
  - Hur snabbt svar?
  - Extra register, automatiskt spara register etc.
  - Hur vet processorn adress för avbrott?
    - Flexibilitet vs hastighet

Andra instruktionsuppsättningar

Alternativa instruktionsuppsättningar

- ARM (används i ARM Cortex-A, t ex Raspberry Pi)
  - Möjliggör villkorlig exekvering av flytt, aritmetiska och subrutinhoppsoperationer

```
CMP     r0, #0   ; if (x <= 0)
MOVLE   r0, #0   ;   x = 0;
MOVGT   r0, #1   ; else x = 1;
```

  - Tillåter val om flaggor ska påverkas av en instruktion
  - Varje instruktion är 32 bitar lång
  - Väldigt få adresseringsmoder
- Cortex-A familjen kan tolka olika instruktionsuppsättningar
  - ARM vs THUMB
  - Olika längd på instruktioner beroende på instruktionsuppsättning

Alternativa instruktionsuppsättningar, forts.

- Processorn tolkar binära data som instruktioner (maskininstruktioner)
- Mappning instruktion => binärmönster
  - Kompatibilitet kan vara binär
    - samma binärmönster => samma beteende
  - Kompatibilitet kan vara på källkodsnivå
    - Måste assemblera om källkod för att kunna köras på ny maskin
- Mappningen måste vara effektiv att implementera
  - Inte något slumpmässigt val av bitmönster
  - Ofta möjligt dela upp instruktionen i olika bitfält
    - Ett för opcode, ett för register, ett för konstantargument etc.
    - Vill inte ha oanvända bitar

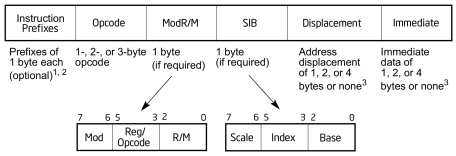
Alternativa instruktionsuppsättningar: x86

- Intel x86 (vanliga windows/MacOS datorer)
- Instruktioner är 8-120 bitar

  0x43 => INC BX ; BX = BX + 1

  0x32 0xf1 0x12 => XOR CL,0x12

  0x8B 0x88 0x45 0x03 => MOV CX,COUNT[BX][SI]
- Prefix för att utöka antal möjliga instruktioner
  - Exempel: REPE Repeat while equal
- Max 15 byte för en instruktion
  - Varje ruta motsvarar ett antal bitar som väljer en funktion
    - Reg : vilket register (finns bara 8 generella)
    - Mod : om register eller fler byte i instruktionen ska ingå
- 2 operand instruktioner (ett av indataregistren är utdataregister)



1. The REX prefix is optional, but if used must be immediately before the opcode; see Section 2.2.1, "REX Prefixes" for additional information.
2. For VEX encoding information, see Section 2.3, "Intel® Advanced Vector Extensions (Intel® AVX)".
3. Some rare instructions can take an 8B immediate or 8B displacement.

https://www.intel.com/content/www/us/en/architecture-and-technology/64-ia-32-architectures-software-developer-vol-2a-manual.html

Alternativa instruktionsuppsättningar: ARM

- ARM (t ex Cortex-A), OBS: Ej thumb (dvs inte Darma)
  - 32-bitar långa instruktioner (varken mer eller mindre)
  - Adresser och konstanter kan behöva vara 32 bitar
    - Kan inte ingå i instruktionen direkt
    - Alternativ 1: kombineras MOV och MOVT
    - Alternativ 2: kort konstant gör om till lång
    - Alternativ 3: Ladda konstant från programminne (adress < 12 bitar)
  - Instruktionen behöver beskriva vilken operation, vilka register, vilka övriga parametrar
    - Bit 31-26 anger villkor (Alla instruktion är villkorliga)
    - Bit 27 och 26 beskriver vilken typ av instruktion
      - 00 databehandlande
      - 01 load/store
      - 10 hopp/subrutiner blockflytt
      - 11 coprocessor, software interrupt

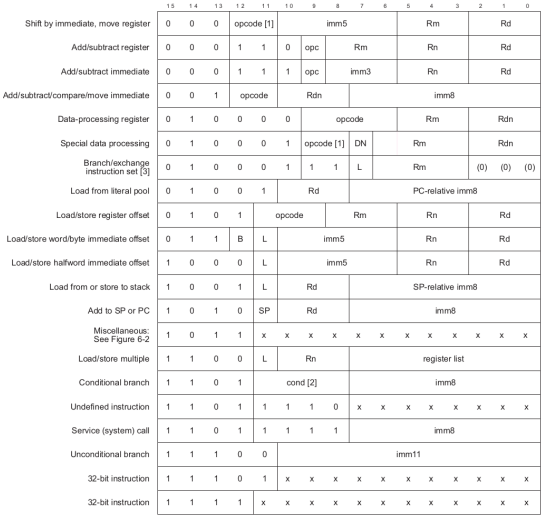
Alternativa instruktionsuppsättningar: ARM

- ARM instruktioner delas upp på olika fält

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	Instruction Type
Condition				0	0	I	OPCODE				S	Rn				Rs				OPERAND-2												Data processing
Condition				0	0	0	0	0	0	A	S	Rd				Rn				Rs				1	0	0	1	Rm				Multiply
Condition				0	0	0	0	1	U	A	S	Rd HIGH				Rd LOW				Rs				1	0	0	1	Rm				Long Multiply
Condition				0	0	0	1	0	B	0	0	Rn				Rd				0	0	0	0	1	0	0	1	Rm				Swap
Condition				0	1	I	P	U	B	W	L	Rn				Rd				OFFSET												Load/Store - Byte/Word
Condition				1	0	0	P	U	B	W	L	Rn				REGISTER LIST																Load/Store Multiple
Condition				0	0	0	P	U	1	W	L	Rn				Rd				OFFSET 1				1	S	H	1	OFFSET 2				Halfword Transfer Imm Off
Condition				0	0	0	P	U	0	W	L	Rn				Rd				0	0	0	0	1	S	H	1	Rm				Halfword Transfer Reg Off
Condition				1	0	1	L	BRANCH OFFSET																								Branch
Condition				0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	Rn				Branch Exchange
Condition				1	1	0	P	U	N	W	L	Rn				CRd				CPNum				OFFSET								COPROCESSOR DATA XFER
Condition				1	1	1	0	Op-1				CRn				CRd				CPNum				OP-2			0	CRm				COPROCESSOR DATA OP
Condition								OP-1			L	CRn				Rd				CPNum				OP-2			1	CRm				COPROCESSOR REG XFER
Condition				1	1	1	1	SWI NUMBER																								Software Interrupt

https://users.ece.utexas.edu/~valvano/EE345M/Arm_EE382N_4.pdf

- THUMB kombinerar 16 och 32 bitar långa instruktioner
  - Måste förenkla jämfört med vanlig ARM
    - Inget condition fält
    - Kortare offset/konstanter
  - Vill fortfarande kunna köra nästan likadana program
    - Ovanligare operation blir 32 bitar långa



	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Shift by immediate, move register	0	0	0	opcode [1]		imm5					Rm			Rd		
Add/subtract register	0	0	0	1	1	0	opc		Rm			Rn		Rd		
Add/subtract immediate	0	0	0	1	1	1	opc		imm3			Rn		Rd		
Add/subtract/compare/move immediate	0	0	1	opcode		Rdn			imm8							
Data-processing register	0	1	0	0	0	0	opcode				Rm			Rdn		
Special data processing	0	1	0	0	0	1	opcode [1]		DN	Rm				Rdn		
Branch/exchange instruction set [3]	0	1	0	0	0	1	1	1	L	Rm				(0)	(0)	(0)
Load from literal pool	0	1	0	0	1	Rd			PC-relative imm8							
Load/store register offset	0	1	0	1	opcode			Rm			Rn			Rd		
Load/store word/byte immediate offset	0	1	1	B	L	imm5					Rn			Rd		
Load/store halfword immediate offset	1	0	0	0	L	imm5					Rn			Rd		
Load from or store to stack	1	0	0	1	L	Rd			SP-relative imm8							
Add to SP or PC	1	0	1	0	SP	Rd			imm8							
Miscellaneous; See Figure 6-2	1	0	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Load/store multiple	1	1	0	0	L	Rn			register list							
Conditional branch	1	1	0	1	cond [2]				imm8							
Undefined instruction	1	1	0	1	1	1	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x
Service (system) call	1	1	0	1	1	1	1	1	imm8							
Unconditional branch	1	1	1	0	0	imm11										
32-bit instruction	1	1	1	0	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
32-bit instruction	1	1	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

ARM Architecture Reference Manual Thumb-2 Supplement

Prestandajämförelser

Prestandajämförelser

- Antal register, operationstyper, klockfrekvenser och ordbredder skiljer sig åt
  - Varierar även inom samma familj av processorer
- Köparen av en dator är intresserad av prestanda (tid, effekt, kostnad) för att köra köparens applikationer
  - Olika processorer är bra på olika saker (heltalsaritmetik, sekvensiell vs parallel exekvering etc.)
- Vill därför kunna jämföra prestanda för vissa typer av arbetsuppgifter

Prestandajämförelser, forts.

- Standardiserade test: SPEC
  - Standard Performance Evaluation Corporation
- SPEC CPU2017
  - SPECrate/SPECspeed 2017 Integer: 10 olika program att mäta heltalsprestanda på (inkl. matematiska beräkningar med heltal/2-komplement)
  - SPECrate/SPECspeed 2017 Floating point: 13/10 olika program att mäta flyttalsprestanda på (matematiska beräkningar med reella tal)
- Definierade test ger samma effekt som för dieselbilars utsläppstester.....
  - Processorer blir optimerade för att ge bra testresultat
  - Bra testresultat stämmer inte alltid med bra prestanda för önskad applikation.
- Vanligt med stor mängd ”verkliga” testfall istället

Prestandajämförelser, forts.

- Alternativa jämförelser
  - Generella, sammanfattande
    - PC Mark, SISoftware Sandra
  - Specifika, vanliga ”nyttoprogram”
    - Office
    - Adobe
    - Zip
  - Specifika, beräkningsserver
    - NAMD, Unixbench, sysbench
  - Specifika, Gaming
    - Battlefield, hitman, GTA etc.

Prestandajämförelser, forts.

- Att komma ihåg vid jämförelse av datorer
  - Processorn är en del av ett större system
  - Prestanda kan begränsas av många andra delar
    - Hårddisk vs SSD
    - Minne
    - Kylning
  - Prestanda påverkas även av kompilatorns funktion
    - Intel har egen assembler, ARM har egen assembler
    - gcc, llvm open source alternativ

Nästa period (VT2)

- Dags att lära sig hur datorn är uppbyggd i detalj
  - Introducera bussar, register, beräkningselement, klockcykler, styrsignaler etc.
  - Se hur arkitektur bestämmer hastighet hos datorn
- Därefter se hur prestanda kan ökas mha diverse lösningar
  - Förutse nästa instruktion
  - Använda små snabba minnen
  - Göra flera saker samtidigt

Nästa period (VT2), forts.

- Ingen mer ARM Cortex-M assembler i nästa period
  - Undantag: Tenta!
  - Titta på gamla tentor för att se upplägg och tillgänglig information
  - Se till att träna så ni kan skriva egna små program
  - Träna att analysera given kod
- Förväntar mig inte att ni kan alla instruktioner
  - Ska kunna de instruktioner ni använde i labben
  - Många specialinstruktioner är inte nödvändiga
  - Darma-manualen ger en bra lista