NOTAT (pensum!)
Javas klasse-filer, byte-kode og utførelse

Dessverre litt få figurer

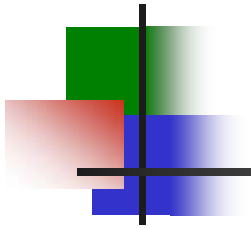
INF 5110, 8/5-2012,

Stein Krogdahl

Byte-koden for Java og .Nett (C#)

http://en.wikipedia.org/wiki/Java_bytecode_instruction_listings

http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_CIL_instructions

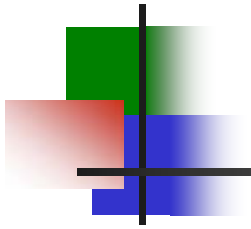


Oversikt over Javas class-filer og byte-kode

- Disse formatene ble planlagt fra start som en del av hele Java-ideen
  - Byte-koden gir portabilitet ved at den utføres av en interpretator (som må skrives for hver enkelt maskin, gjerne i C eller C++)
  - Gir, sammen med et standard bibliotek, et enhetlig grensesnitt til operativsystemet, grafikk, osv. fra Java
  - Samme Java-kompilator (til byte-kode) kan dermed brukes på alle maskiner

- For effektivitet: Byte-koden blir nå oftest oversatt til maskinkode for den aktuelle maskinen før utførelsen (JIT-kompilering), f.eks. slik:
  - Hele programmet oversettes som en del av ”loadingen”.
  - Klassene oversettes etter hvert som eksekveringen når dem
  - Avansert: Når man ser at noe utføres ofte, oversettes dette. Ellers ikke!

- Finnes også Java-kompilatorer som hopper over hele byte-kode-steget
  - Får da en tradisjonell kompilator, som kan lage effektiv kode
  - Men det arbeidet MYE med optimalisering av JVM’er. Neppe lette å slå!
  - Men det er mer problematisk å koble seg til Javas standard-bibliotek etc.
  - Sun/ORACLE saksøker nå Google fordi Android/Dalvik gjør noe slikt



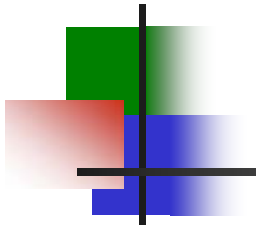
Fra Java-program til utførelse

Hovedidé:

- Java-program → (vha. Java-kompilator, som det holder med én av!)
  - class-filer med *tekstlig* byte-kode →
    går til en Java Virtual Maskin (JVM)

En JVM kan så gjøre forskjellige ting:

- Opprinnelig var altså tanken at:
  - Den tekstlige byte-koden oversettes til et internt utførbart format (ikke standardisert), der alle navn er oversatt til binære lageradresser, relativadresser etc.
  - Så blir denne utført ved interpretasjon
- Men det vanligste nå er at:
  - Den tekstlige byte-koden blir oversatt av en JIT-kompilator, til maskinkode for den aktuelle maskin.
  - Denne blir utført på tradisjonell måte



Oblig 2 og ”Byte-kode” for C#

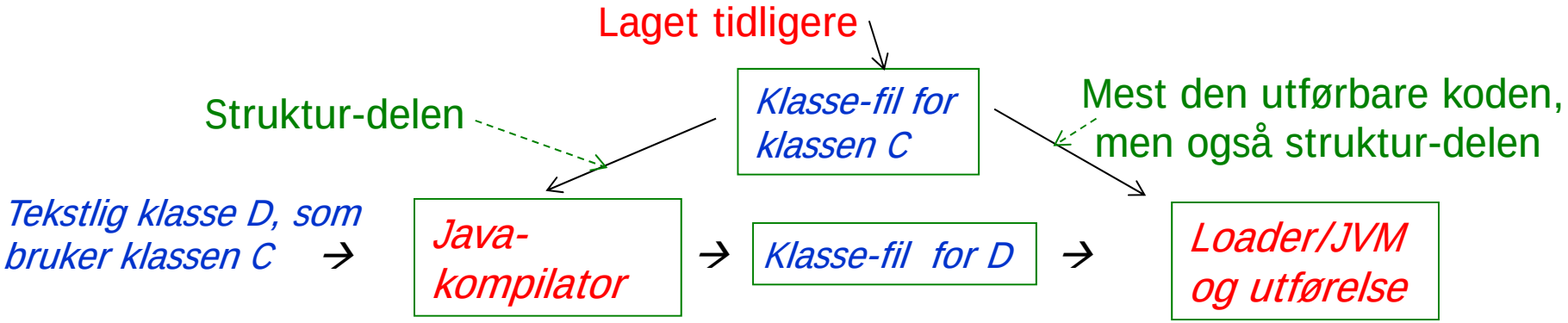
- Byte-koden likner mye på den lavnivå-koden dere oversetter til i Oblig 2
  - Men i Oblig 2 blir også ”Loading” gjort samtiding som koden blir laget, og hver instruksjon blir lagret direkte i et binært format
  - Men i byte-kode blir altså alle navn beholdt på tekstlig form når kompilatoren legger koden på fil, som er det sentrale element i en klasse-filer.
  - Først når denne taes inn av loaderen blir den laget binær kode.

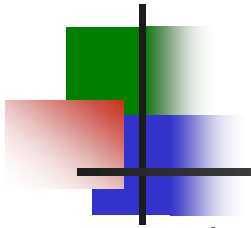
- Det som tilsvarer Javas bytekode hos C# og .NET heter CIL (Common Intermediate Language), men denne kalles ofte også for bytekode.
  - CIL ble laget *etter* Javas bytekode, og kunne bruke erfaringene derfra
  - CIL er ikke beregnet på interpretering, bare for oversettelse videre til maskinspråk.
  - Det gjør at den ikke er begrenset av å være på et format som er lett å interpretere
  - Kan derfor også klare seg uten type-informasjon f.eks. i add-instruksjonen. Typen kan den se ut fra typen på stakk-verdiene.
  - CIL-koden ble fra starten av laget ikke bare med tanke på C#, men med tanke på at flere språk skulle kunne kompileres til den. Den ble altså designet litt ”bredere”.
  - Om man oversetter sitt språk til CIL, får man også automatisk grei tilgang til masse biblioteker etc.

Litt om Javas class-filer og byte-kode

- Klasse-filer inneholder både:
  - 1. Den utførbare koden for hver metode i klassen (som byte-kode = sekvenser av byte-instruksjoner)
  - 2. Info om strukturen av klassen, med info om navn, variable, metoder, parametere, typer, etc.
  - Disse to informasjonstypene ble tradisjonelt lagt på to forskjellige filer: For C og C++, på .c-filer (som inneholder utførbar kode) og på .h-filer

- En class-fil leses derved i to sammenhenger i forbindelse med kompilering/kjøring:
  - Når en annen klasse som referer til denne (f.eks. en subklasse) kompileres: Da ser man bare på struktur-delen av klasse-filen
  - Når klassen skal loades: Da ser man også på den utførbare byte-koden for hver av metodene i klassen

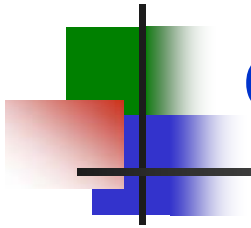




Formatet av Javas class-filer

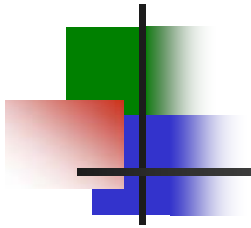
- På hver class-fil er det bare beskrivelse av én klasse eller ett grensesnitt
- Class-filene har all informasjon om:
  - Navn på klassen, og på superklassen og implementerte grensesnitt
  - Hvilke variable klassen har, ved navn, type og synlighet
  - Hvilke metoder den har, med navn, type, synlighet,
  - Byte-koden for alle metodene

- class-filene er rasjonalsiert slik at navn/strenger i programmet bare er lagret en gang
  - Dette gjøres i et ”navne-område” (også kalt ”konstant-området”)
  - Her ligger alle tekster, navn, og tall-verdier (på tekstlig form) som brukes i programmet, pent etter hverandre, og kan aksesseres ved sin “indeks”
  - Når disse skal brukes ellers i selve byte-koden, angir man bare indeksen for dette navnet i navne-området.



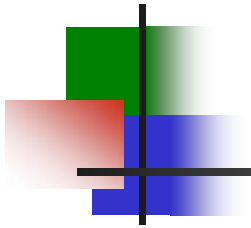
Oppsummering: Selve den utførbare byte-koden

- Byte-koden har samme idé som P-koden, ved at arbeids-dataene skal ligge på en stakk under utførelsen
- Funksjons-delen av instruksjonen er på én byte.
  - Det er altså plass til 256 forskjellige instruksjoner (men noen er satt av til fremtidig bruk)
  - Byte-koden har f.eks. en add-instruksjon for hver aritmetisk type
- Byte-instruksjonenes ”adressefelt” (der dette trengs) angis ved fullt navn (tekstlig, dog som indeks), type og klasse-tilhørighet
  - Det eneste unntaket fra dette er lokale variable i metoder. Disse angis som relativ-adresse (i byte) i aktiverings-blokken.
- Som antydet på forrige foil: Det blir mange navn det stadig skal refereres til.
  - Derfor ligger navnene bare én gang hver i et eget ”navne-område”, og de angis andre steder bare ved sin indeks i dette området



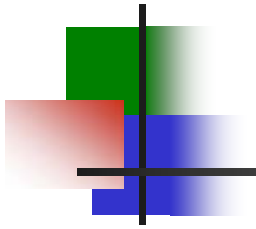
Hva foregår i en Java Virtual Machine (JVM)

- En JVM kan altså enten *interpretere* eller *oversette til maskinkode*
  - Men også om den vil interpretere vil den først gjøre bytekoden om til en *intern* bytekode-form der *alt er tall og fysiske adresser*
- Loaderen har en *verifikator* som kan sjekke innkommende byte-kode
- Loaderen starter med å lese inn og behandle den angitte class-fil
  - Leser så etter hvert inn alle class-filer som det referers til fra denne, osv.
- Lager en ”run-time descriptor” for hver klasse (omtalt i Birgers del)
  - Denne vil ligge fast under den kommende utførelse av programmet
  - Alle objekter vil få en peker til descriptoren for sin klasse
  - Descriptoren inneholder virtuell-tabellen for klassen, en peker til descriptoren for superklassen, etc.
  - Dersom man har angitt debugging eller bruk av reflesivitet: Klasse-descriptoren inneholder også info om alle variable/metoder, deres navn og typer, osv.
  - Descriptoren kan også ha en peker til et sted der selve Java-koden ligger



Mer om en JVM

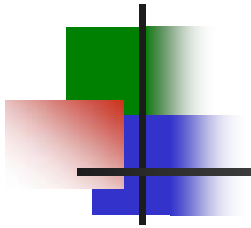
- Loaderen gjør ”allokering” av variable i klassene, dvs.:
  - Går gjennom byte-kode-sekvensen og gjør hver av de tekstlige operandene om til relativadresser, og alle klasse-angivelser (f.eks. i casting og ved ”new C...”) om til pekere til klassens descriptor
  - Merk at allokering av én klasse må gjøres *før* allokering for dens subklasser, fordi subklassen må vite hvilken relativ-adresse dens variabler skal starte på.
- Dersom interpretering:
  - Legger sekvensen av byte-instruksjoner (nå med tall både for funksjonsangivelse og adresser) ut i et passelig format (ikke standardisert)
  - Starter å interpretere dette
- Dersom oversetting:
  - Oversetter sekvensen byte-instruksjoner til maskinkode for gitt maskin
  - Kan også gjøres som en vanlig ”forhåndskompilering”, eller en JIT-kompilering (Just-In-Time) i forbindelse med at programmet skal startes opp.
- Kan også gjøre noe midt i mellom:
  - Interpretere først, men etter hvert oversette de metoder som brukes mest.
- Finnes også Java-kompilatorer som hopper over hele byte-kode-steget
  - Får da en tradisjonell kompilator, som kan lage effektiv kode
  - Men det er mer problematisk å koble seg til Javas standard-bibliotek etc.



Verifikatoren

- Denne kan gå gjennom klassefiler og sjekke at de er konsistente
  - Spesielt sjekke at bytekoden er konsistent (se under)
  - Og at den ikke gjør noe den ikke har autorisasjon til
  - Dette er spesielt aktuelt for class-filer som hentes inn over nettet

- Hva gjør verifikatoren med byte-koden:
  - ”Simulerer” hele tiden hva som vil ligge på stakken under utførelsen
  - Sjekker at det som ligger på toppen av stakken hele tiden stemmer typemessig etc. med den instruksjonen som skal utføres
  - Sjekker at når det gjøres hopp så er stakken typemessig helt lik der det hoppes fra og der det hoppes til.
  - Sjekker at de operasjonene som gjøres er lovlige (i henhold til autorisasjon)



Tråder, og utførelse i (ekte) parallell

- Når man i et Java-program kjører flere tråder setter man for hver tråd vanligvis av et "stort" område til hver tråds stakk (typisk ¼ - 1 Mbyte).
  - Størrelsen av dette området kan vanligvis settes av brukeren.
  - Om det for stakken til en tråd trengs mer enn det avsatte området vil programmet stoppe (kanskje ikke i alle systemer??)
- Men merk: På grunn av "paging-systemet" vil man ikke bruke så mye *fysisk* memory.
  - Én page er vanligvis 4 kbyte (altså 1/250 Mbyte) så man bruker hele antall av dette.
  - Men om stakken blir stor i starten og mindre siden vil man nok fortsette å bruke plass tilsvarende det største stakken noengang har vært
- Objektene som genereres legges på en heap som er felles for alle tråder.
  - Disse skal jo kunne aksesseres fra alle tråder
  - Det er satt av et bit i hvert objekt som angir om objektet er "låst"

Typisk Byte-kode, ferdig til interpretering:

Merk: Også funsjonskodene (f.eks. *sipush, iconst_2 og goto*) er nå gjort om til tall-koder (mellom 0 og 255)

Java-program:

```
outer:
for (int i = 2; i < 1000; i++) {
   for (int j = 2; j < i; j++) {
        if (i % j == 0)
            continue outer;
   }
   System.out.println (i);
}
```

```
0: iconst_2
1: istore_1    // "i" har reladr 1
2: iload_1
3: sipush 1000
6: if_icmpge 44
9: iconst_2
10: istore_2  // "j" har reladr 2
11: iload_2
12: iload_1
13: if_icmpge 31
16: iload_1
17: iload_2
18: irem # remainder
19: ifne 25
22: goto 38
25: iinc_2, 1
28: goto 11
31: getstatic #84;  // Området for println() ?
34: iload_1
35: invokevirtual #85; // println()
38: iinc 1, 1
41: goto 2
44: return
```