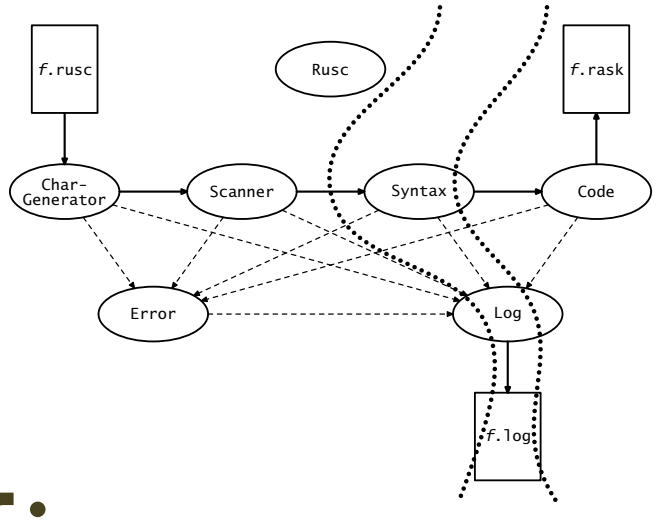
Dagens tema:

Kodegenerering

- Introduksjon
- Modulen Code
- Enkle variable
- Noen enkle setninger
- Uttrykk
- Litt mer kompliserte setninger med betingelser

(Alt unntatt program, funksjoner og array-er.)

Del-0 Del-1 Del-2



Formålet

Formålet med kodegenereringen er å lage Rasko-kode som Rask-maskinen kan utføre:

Inndata er trerepresentasjonen av RusC-programmet laget i del 1.

Utdata er en fil med Rasko-kode.

Anta at vi har RusC-koden

```
putchar('?');
```

Disse Rask-instruksjonene gjør dette:

```
SET     R11,63
CALL    9993
```

Det finnes mange mulige kodebiter som gjør det samme. I kompendiet står angitt ganske nøyaktig hvilke som skal brukes.

NB!

Det er viktigere at koden er riktig enn at den er rask!

```
func pot2 (int x)
{
   int p2;   p2 = 1;
   while (2*p2 <= x) { p2 = 2*p2; }
   return p2;
}

int x;

func main ()
{
   int v;   v = getint();
   x = pot2(v);   putint(x);   putchar(10);
}
```

skal oversettes til

```
#! /store/bin/rask

1600000000000035 2110000000000000 1600000000009990 0 0
0 0 3310000000000003 3030000000000004 3110000000000005
2010000000000001 3010000000000006 2010000000000002 2030100000000000 1010000000000006
6010300000000001 2030100000000000 1010000000000005 1101030000000001 1401000000000026
2010000000000002 2030100000000000 1010000000000006 6010300000000001 3010000000000006
1400000000000012 1010000000000006 1400000000000028 1030000000000004 1310000000000003
1700000000000000 0 0 0 0
3310000000000032 3030000000000033 1600000000009992 3010000000000034 1110000000000034
1600000000000007 3010000000000031 1110000000000031 1600000000009994 2110000000000010
1600000000009993 1030000000000033 1310000000000032 1700000000000000
```



```
Code    25: 1400000000000012  JUMPEQ    0  0          12  # continue while
--->    19: 1401000000000026                           26  # <update break address>
Code    26:  1010000000000006 LOAD      1  0           6  # R1 = p2
Code    27: 1400000000000000  JUMPEQ    0  0           0  # return
--->    27: 1400000000000028                           28  # <update address of return>
Code    28:  1030000000000004 LOAD      3  0           4  # <restore R3>
Code    29:  1310000000000003 LOAD     31  0           3  # <restore return address>
Code    30: 1700000000000000  RET       0  0           0  # return (from pot2)
Code    31:                   RES                      1  # int x
Code    32:                   RES                      1  # <return address> in main
Code    33:                   RES                      1  # <refuge for R3> in main
Code    34:                   RES                      1  # int v
Code    35:  3310000000000032 STORE    31  0          32  # <save return address>
Code    36:  3030000000000033 STORE     3  0          33  # <save R3>
Code    37: 1600000000009992  CALL      0  0        9992  # getint(...)
Code    38:  3010000000000034 STORE     1  0          34  # v =
Code    39:  1110000000000034 LOAD     11  0          34  # R11 = v
Code    40: 1600000000000007  CALL      0  0           7  # pot2(...)
Code    41:  3010000000000031 STORE     1  0          31  # x =
Code    42:  1110000000000031 LOAD     11  0          31  # R11 = x
Code    43: 1600000000009994  CALL      0  0        9994  # putint(...)
Code    44:  2110000000000010 SET      11  0          10  # R11 = 10
Code    45: 1600000000009993  CALL      0  0        9993  # putchar(...)
Code    46:  1030000000000033 LOAD      3  0          33  # <restore R3>
Code    47:  1310000000000032 LOAD     31  0          32  # <restore return address>
Code    48: 1700000000000000  RET       0  0           0  # return (from main)
--->     0: 1600000000000035                           35  # <address of 'main'>
```

Å implementere denne opsjonen er en del av den obligatoriske oppgaven.

Genererte instruksjoner

Til hjelp under uttesting finnes opsjonen **–logC** som lar kompilatoren fortelle hvilken kode den lager:

```
Code     0: 1600000000000000  CALL      0  0           0  # <Dummy main program>
Code     1:  2110000000000000  SET      11  0           0  #     (0)
Code     2: 1600000000009990  CALL      0  0        9990  # exit
Code     3:                   RES                      1  # <return address> in pot2
Code     4:                   RES                      1  # <refuge for R3> in pot2
Code     5:                   RES                      1  # int x
Code     6:                   RES                      1  # int p2
Code     7:  3310000000000003 STORE    31  0           3  # <save return address>
Code     8:  3030000000000004 STORE     3  0           4  # <save R3>
Code     9:  3110000000000005 STORE    11  0           5  # <save parameter x>
Code    10:  2010000000000001 SET       1  0           1  # R1 = 1
Code    11:  3010000000000006 STORE     1  0           6  # p2 =
Code    12:  2010000000000002 SET       1  0           2  # R1 = 2
Code    13:  2030100000000000 SET       3  1           0  # <save operand>
Code    14:  1010000000000006 LOAD      1  0           6  # R1 = p2
Code    15:  6010300000000001 MUL       1  3           1  # *
Code    16:  2030100000000000 SET       3  1           0  # <save operand>
Code    17:  1010000000000005 LOAD      1  0           5  # R1 = x
Code    18: 1101030000000001  LESSEQ    1  3           1  # <=
Code    19: 1401000000000000  JUMPEQ    1  0           0  # break while if != 0
Code    20:  2010000000000002 SET       1  0           2  # R1 = 2
Code    21:  2030100000000000 SET       3  1           0  # <save operand>
Code    22:  1010000000000006 LOAD      1  0           6  # R1 = p2
Code    23:  6010300000000001 MUL       1  3           1  # *
Code    24:  3010000000000006 STORE     1  0           6  # p2 =
```


Hvordan implementere kodegenerering

Det beste er å følge samme opplegg som for å skrive ut programkoden i del 1:

Kodegenerering

Legg en metode genCode inn i alle klasser som representerer en del av RusC-programmet.

```
class WhileUnit extends StatementUnit {
    ExpressionUnit test;
    StatmListUnit body;

    public static WhileUnit parse(DeclListUnit decls) {
        ⋮
    }

    public void genCode() {
        ⋮
    }


    public void printTree() {
        ⋮
    }
}
```


Metoden finish skriver ut den ferdige Rasko-kodefilen:

```
public static void finish() {
    String codeName = Rusc.sourceName;
    if (codeName == null) return;

    if (codeName.endsWith(".rusc"))
        codeName = codeName.substring(0,codeName.length()-5);
    codeName += ".rask";

    PrintWriter f = null;
    try {
        f = new PrintWriter(codeName);
    } catch (FileNotFoundException e) {
        Error.error("Cannot create code file " + codeName + "!");
    }
    f. println("#! /store/bin/rask");   f.println();

    for (int ix = 0;  ix < curAddr;  ++ix) {
        f.print(mem[ix]);
        if (ix%5 == 4) f.println();
        else           f.print(" ");
    }
    f.println();   f.close();
}
```


Modulen Code

Modulen Code tar seg av kodegenereringen:

```
package no.uio.ifi.rusc.code;

import java.io.*;
import no.uio.ifi.rusc.error.Error;
import no.uio.ifi.rusc.log.Log;
import no.uio.ifi.rusc.rusc.Rusc;

public class Code {
    public static final int codeSize = 10000;
    public static int curAddr = 0;

    private static long mem[];

    public static void init() {
        //-- Må endres i del 2:
    }
    ⋮
}
```


De enkelte instruksjonene lagres med genInstr:

```
private static int genInstr(String instrName, int instrNo,
                            int op1, int op2, int op3, String comment) {
    if (curAddr >= codeSize-10)
        Error.error("Memory overflow! More than " + (codeSize-10) +
                    " instructions/data words generated!");

    Log.noteCode(curAddr, instrName, instrNo, op1, op2, op3, comment
    mem[curAddr++] = instrNo*100000000000000L + op1*1000000000000L +
        op2*10000000000L + op3;
    return curAddr-1;
}

public static int genSet(int op1, int op2, int op3, String comment)
    return genInstr("SET", 2, op1, op2, op3, comment);
}

public static int genRet(int op1, int op2, int op3, String comment)
    return genInstr("RET", 17, op1, op2, op3, comment);
}
```

Enkle variable

Det må settes av plass i minnet til alle enkle[1] variable.

Viktig!

- Data og instruksjoner ligger i det samme minnet.
- Datamaskinen Rask vet ikke hva som er hva – det må vi som genererer kode, passe på!

[1] Array-er er tema neste uke.

Reservasjon av variable løses med en metode i Code:

```
public class Code {
    public static final int codeSize = 10000;
    public static int curAddr = 0;

    private static long mem[];

    public static int resMem(int nWords, String comment) {
        if (curAddr+nWords > codeSize-10)
            Error.error("Memory overflow! More than " + (codeSize-10
                        " instructions/data words generated!");

        Log.noteRes(curAddr, nWords, comment);
        curAddr += nWords;
        return curAddr-nWords;
    }
    ⋮
```


Setninger

I kompendiet finner vi kodeskjemaer for alle setningene.

NB!

Disse kodeskjemaene *skal* brukes, selv om de ikke gir optimal kode!

Tilordning

⟨v⟩ = ⟨e⟩;	⇒	⟨Beregn ⟨e⟩, svar i R_1⟩ STORE R1,R0,Adr(⟨v⟩)

Registerbruk

For å holde oversikt *skal* registrene brukes slik:

R_0	Alltid 0	(gitt av Rask)
R_1	Hovedregister for beregning av uttrykk	
R_2	Hjelperegister ved vektoraksess	
R_3	Hjelperegister ved beregning av uttrykk	
R_{11}	Parameter 1 ved funksjonskall	
R_{12}	Parameter 2 ved funksjonskall	
R_{13}	Parameter 3 ved funksjonskall	
R_{14}	Parameter 4 ved funksjonskall	
R_{31}	Returadresse ved funksjonskall	(gitt av Rask)

Kodegenereringsmetoden blir da:

```
class AssignmentUnit extends StatementUnit {
    VariableUnit lhs;       /* "Left hand side" */
    ExpressionUnit rhs;     /* "Right hand side" */

    public void genCode() {
        rhs.genCode();
        if (⟨er et array-element⟩) {
          .
          .
          .
        } else {
            Code.genStore(1, 0, lhs.declRef.memAddr,
                          lhs.declRef.name+" = ");
        }
    }
    .
    .
    .
```


Uttrykk

Hvordan lager vi kode for et uttrykk som

*4 * a - 17?*

Første operand

Det er ganske enkelt å lage kode som legger en variabel i $\mathbf{R_1}$-registeret:

⟨v⟩	⇒	LOAD R1,R0,Adr(⟨v⟩)

Det er nesten like enkelt for konstanter (tall eller tegn); vi må bare spesialbehandle negative tall. (Hvorfor det?)

⟨n⟩	⇒	SET R1,R0,⟨n⟩
-⟨n⟩	⇒	SET R1,R0,⟨n⟩ SUB R1,R0,R1

Resten av uttrykket

Resten av uttrykket består av 0 eller flere par av ⟨operator,konstant/variabel⟩ som vi kan ta etter tur. Slik oversetter vi +:

⟨e_1⟩ + ⟨e_2⟩	⇒	⟨Beregn ⟨e_1,⟩ svar i $\mathbf{R_1}$⟩ SET R3,R1,0 ⟨Beregn ⟨e_2,⟩ svar i $\mathbf{R_1}$⟩ ADD R1,R3,R1

Ved at alle operander er innom $\mathbf{R_1}$ blir det enklere å skrive kodegenereringen (men koden blir ikke fullt så rask).

```
class ExpressionUnit extends SyntaxUnit {
    ExprElementUnit elems = null;

    public void genCode() {
        elems.genCode();
        ExprElementUnit e = elems.nextElem;
        while (e != null) {
            Code.genSet(3, 1, 0, "<save operand>");
            e.nextElem.genCode();
            e.genCode();
            e = e.nextElem.nextElem;
        }
    }
    ⋮
```


Setninger

Noen setninger er litt mer kompliserte å generere kode for.

While-setningen

```
while (⟨e⟩) {
   ⟨S⟩
}
```

⇒

```
Lw:  ⟨Beregn ⟨e⟩, svar i R1⟩
     JUMPEQ  R1,R0,Lx
     ⟨S⟩
     JUMPEQ  R0,R0,Lw
Lx:
```


RusC-koden

```
while (a < 10) {
   a = a + 1;
}
```

skal generere denne koden:

```
Code   10:   101000000000005  LOAD     1  0   5
Code   11:   203010000000000  SET      3  1   0
Code   12:   201000000000010  SET      1  0  10
Code   13: 1001030000000001  LESS     1  3   1
Code   14: 1401000000000021  JUMPEQ   1  0  21
Code   15:   101000000000005  LOAD     1  0   5
Code   16:   203010000000000  SET      3  1   0
Code   17:   201000000000001  SET      1  0   1
Code   18:   401030000000001  ADD      1  3   1
Code   19:   301000000000005  STORE    1  0   5
Code   20: 1400000000000010  JUMPEQ   0  0  10
```


Hoppadresser

Koden inneholder to hopp:

```
Code   10:   101000000000005  LOAD     1  0   5
Code   11:   203010000000000  SET      3  1   0
Code   12:   201000000000010  SET      1  0  10
Code   13: 1001030000000001  LESS     1  3   1
Code   14: 1401000000000021  JUMPEQ   1  0  21
Code   15:   101000000000005  LOAD     1  0   5
Code   16:   203010000000000  SET      3  1   0
Code   17:   201000000000001  SET      1  0   1
Code   18:   401030000000001  ADD      1  3   1
Code   19:   301000000000005  STORE    1  0   5
Code   20: 1400000000000010  JUMPEQ   0  0  10
```

Hopp til kjent adresse

Den siste hoppet er greit nok: Bare husk adressen da man begynte å lage kode for setningen.

Hopp til ukjent adresse

Hva med det første hoppet? Hvor skal vi hoppe?
Løsningen er:

1. Generér en hoppinstruksjon til adresse 0.
2. Når vi en stund senere vet den riktige adressen, kan vi sette inn denne i stedet.

I dag

- kodegenerering generelt
- kodegenerering for
  - uttrykk
  - tilordning
  - while-setninger

Neste uke

- Kodegenerering for
  - array-er
  - funksjoner og funksjonskall
  - hovedprogrammet

Hele koden

```
class WhileUnit extends StatementUnit {
    ExpressionUnit test;
    StatmListUnit body;

    public void genCode() {
        int startAddr = Code.curAddr;

        test.genCode();
        int jumpAddr = Code.genJumpEq(1, 0, 0, "break");

        body.genCode();
        Code.genJumpEq(0, 0, startAddr, "continue while");

        Code.updateInstr(jumpAddr, Code.curAddr,
            "<update break address>");
    }
    ⋮
```