

Symbolisk kalkylator

Uppgiften går ut på att skriva ett program som läser in och beräknar enkla aritmetiska uttryck.

Som en sido-effekt av detta får du arbeta med objektorientering med klasshierarkier, arv och dynamisk bindning samt dynamiska strukturer, undantag, samlingar och recursive descent. *Notera hur delar av denna uppgift knyter an till automatateorin!*

Programfunktion

Först exemplifierar vi den rent numeriska aritmetiken. Så här kommer en körning av det färdiga programmet se ut. ? är en prompt i programmet där användaren skriver in uttryck (visade här i fetstil) och resultatet skrivs ut på en ny rad efteråt. Notera vissa mindre vanliga syntaktiska tilltag som variabeltilldelning med variabelnamn till höger, och multipel tilldelning. Variabler deklarerar inte utan skapas när de används första gången.

```
foo> java Calculator
Welcome to the symbolic calculator!
? 2*(5-2)                Alla numeriska beräkningar i flyttalsaritmetik (double).
6.0

? 1/(2+8) = a            Spara värden i variabler. Tilldelningen går åt höger. Värdet av
                           en tilldelning är det tilldelade värdet.
0.1

? 2 = x = y              Multipla tilldelningar
2.0

? (x+y=z) - (z-1)*(1=x)  Tilldelningar i uttryck. Evaluering från vänster till höger.
1.0

? -sin(exp(a*a*10))      Elementära funktioner
-0.8935409432921488

? ans                   En fördefinierad variabel som alltid innehåller värdet av senast
                           beräknade uttryck
-0.8935409432921488

? -ans+2                Variabeln ans kan användas i uttryck som andra variabler
2.8935409432921488

? --x
-1.0

? vars                  Kommando för att se vilka variabler som finns
{ans=1.0, a=0.1, x=1.0, y=2.0, z=4.0}

? 3**5 ++ x             Felhantering
*** Syntax Error: Unexpected: *

? foo(x+y)
*** Syntax Error: Unexpected: (

? 1/0                  Vissa fel kan överlåtas åt Java för hantering
Infinity

?
```

Symboliska operationer

Som nämnts skall kalkylatorn kunna hantera uttryck *symboliskt*. Exempel:

```

foo> java Calculator
Welcome to the symbolic calculator
? b                Odefinierade variabler har sig själva som värde
b
? 1 = a
1.
? a + b            En beräkning resulterar i ett uttryck
1. + b
? b + a = c       Värden kan vara uttryck
b + 1.
? 2 = b           Även om b tilldelas ett värde så påverkar detta
2.                inte uttryck innehållande b som redan definierats.
? c               Evaluering görs endast en gång – värdet evalueras inte!
b + 1.
? exp(2*x) = y
exp(2.*x)

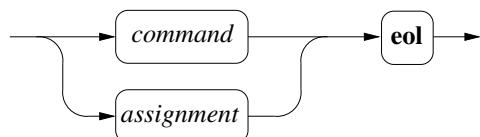
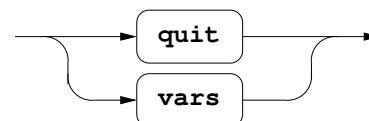
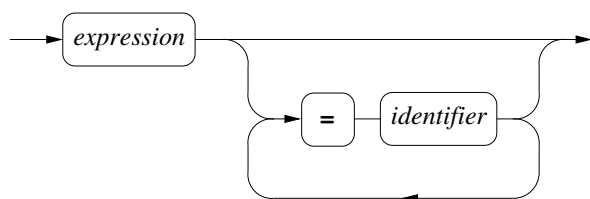
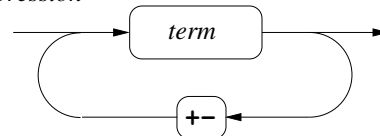
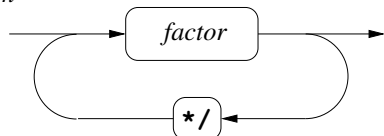
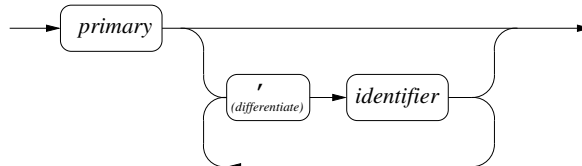
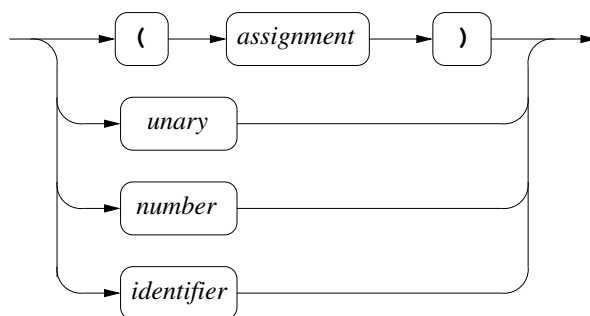
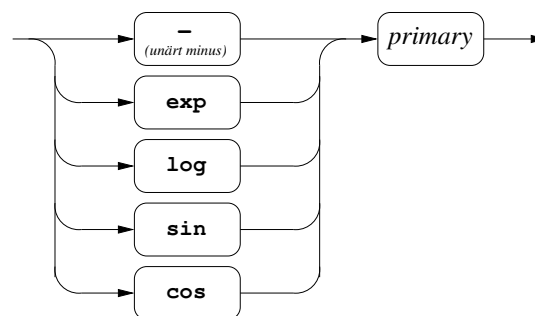
```

Ytterligare exempel

Indata	Värde	Kommentar
3=x	3	Värdet av tilldelningen är 3.
x+y	3 + y	Om en symbol tilldelats ett värde så används värdet vid evalueringen.
z+2=y	z + 2	
3=z	3	
y	z + 2	Symboler evalueras bara en gång (annars skulle värdet bli 5).
y=f	z + 2	Som sagt, endast en gång.
f+z*2	z + 2 + 6	Symbolerna evalueras EN gång men...
f+z*2	z + 8	...skulle kanske kunna göra en bättre förenkling! Dock svårt!
z + x = g	6	g får värdet 6
g	6	...men man kanske ville ha värdet z + x!
f	z + 2	Definierat ovan.
z	3	
(f + z*z)	z + 2 + 9	

Syntaxdiagram

Indata till programmet består av satser (*statement*) skrivna en per rad. Syntaxen definieras av nedanstående diagram. **Observera!** Tidigare innehöll denna uppgift även deriveringsoperationer vilket kan ses i syntaxdiagrammet för *factor*. Nu kan man enkelt unifiera *factor* och *primary*. (**eol** står för "end of line".)

statement*command**assignment**expression**term**factor**primary**unary*

Programdesign

Intern representation av uttryck

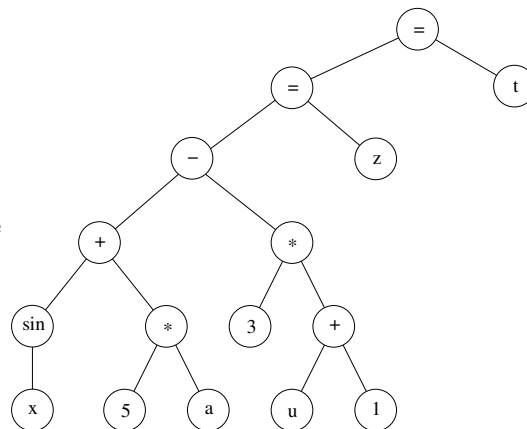
Programmet skall läsa uttrycken och bygga upp en internrepresentation som lämpar sig för evaluering. Ni skall använda en *trädstruktur* där operatorer och funktioner lagras i de interna noderna och konstanter och variabler i löven.

Det matematisk uttrycket

$$\sin x + 5a - 3(u + 1) = z = t$$

skall alltså representeras av trädet till höger.

(När uttrycket skrivs som indata till programmet måste multiplikationstecknet vara med)



Gemensamt för alla noder är (bl.a.) att de skall kunna *evalueras* men evaluering betyder sig olika beroende på vad det är för typ av nod (*konstant*, *variabel*, *addition*, ...).

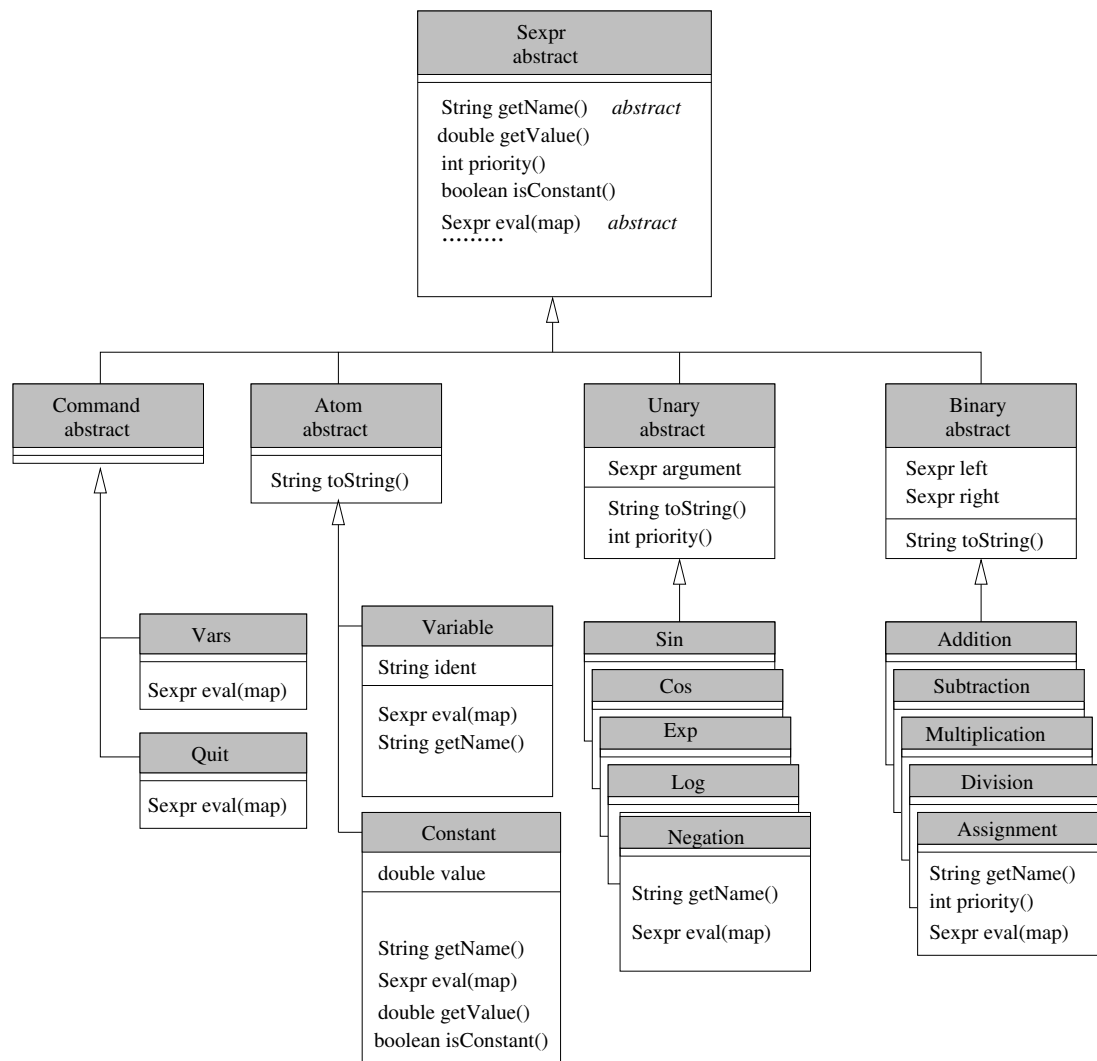
Eftersom noderna ska kunna vara av olika typer (operatorer, funktioner, variabler, konstanter, ...) är det lämpligt att implementera dem i en klasshierarki med en generell basklass som skulle kunna kallas *SymbolicExpression*. Av layout-skäl kan det dock vara bra att använda ett kortare namn som *Sexpr* eftersom detta namn kommer att vara oerhört frekvent i koden.

Gör egna klasser för varje operation och funktion (*Assignment*, *Addition*, *Subtraction*, *Sin*, ...) samt en klass för variabler och en för konstanter.

Det finns tre tydligt urskiljbara grupper av noder: de med *två* operand (*binära operatorer*), de med *en* operand (*funktioner*, *unärt minus*) och de utan operand (*konstanter*, *variabler*). Det är inte bara antalet operand som är gemensamt för varje grupp utan även vissa metoder. Sålunda kan bl.a. *toString*-metoderna skrivas på samma sätt t.ex. för alla binära operatorer.

Sålunda skall man samla binära operatorer under klassen *Binary* och unära operatorer (inklusive funktioner) under klassen *Unary*. Av "symmetriskäl" är det lämpligt att samla konstanter och variabler under klassen *Atom* även om det nog inte finns så mycket som kan utnyttjas gemensamt mellan dessa två grupper.

Det leder till följande design (ytterligare metoder kommer behöva tillföras):



OBS!: Konstruktorer är inte angivna i figuren.

Det är lämpligt att placera Sexpr och dess subclasser ett eget paket (symbolic). Basklassen Sexpr bör således ha följande utseende.

```

package symbolic;
import ...;

public abstract class Sexpr{

    public Sexpr() {
    }
    ...
}
  
```

Ett exempel på en klass på mellannivån i hierarkin är Unary:

```
package symbolic;

public abstract class Unary extends Sexpr {

    private Sexpr argument; // bör denna vara private?

    public Unary(Sexpr a){
        argument = a;
    }

    public String toString() {...}
    public priority() {...}
}
```

Hur bygger man internstrukturen?

Uttryck byggs av en parser för recursive descent som presenterats på en föreläsning/screencast. Den modifieras så att varje metod som förut returnerade ett tal (en double) nu returnerar en *referens till en skapad nod*.

Exempel: Parsermetoden expression får följande utseende (med en StreamTokenizer st):

```
public Sexpr expression() {
    Sexpr sum = term();
    while (st.ttype=='+' || st.ttype=='-') {
        int operation = st.ttype;
        st.nextToken();
        if (operation=='+')
            sum = new Addition(sum, term());
        else
            sum = new Subtraction(sum, term());
    }
    return sum;
}
```

Där man tidigare utförde en addition eller en subtraktion skapar man nu en additionsnod respektive en subtraktionsnod.

Hur gör programmet för att skriva ut uttryck?

Som vanligt använder man toString()-metoder för att skapa en textrepresentation av de lagrade uttrycken. Dessa metoder gör i princip en inordertraversering av trädet. Ett problem är att i trädet är evalueringsordningen given av strukturen men i den externa bestäms den av prioriteter och parenteser. Således måste toString()-metoderna, vid behov, sätta ut parenteser för att uttrycken skall bli korrekta. Man kan göra det lätt för sig genom att *alltid* sätta ut parenteser men det blir inte så vackert.

Eftersom parenteshanteringen kan göras på samma sätt för alla unära respektive alla binära operatorer så placeras toString()-metoderna i klasserna Unary respektive Binary. Själva operatornamnet erhålles av getName().

Så här ser klassen Unary ut med en naiv implementation (d.v.s. en som sätter ut parenteser var sig det behövs eller ej) av toString():

```
public abstract class Unary extends Sexpr {
    Sexpr argument;

    public String toString() {
        return getName() + "(" + argument.toString() + ")";
    }
    ...
}
```

Variabellistan

Eftersom värden nu är symboliska och inte numeriska måste värdetypen i variabellistan (hashtabellen) vara av `Sexpr`:

```
Map<String,Sexpr> variables = new HashMap<String,Sexpr>();
```

Observera att variabellistan inte alls skall användas i parsern utan *evalueringsmetoderna*!

Huvuditeration

Följande struktur i `main` (eller annan drivmetod) är lämplig (men bör utökas för att hantera vissa specialfall som `quit`, och eventuellt även andra ändringar):

```
Parser p = new Parser();
Map<String,Sexpr> variables = new HashMap<String,Sexpr>();

while (true)
  try {
    System.out.print("? ");
    Sexpr e = p.statement();
    System.out.println("Inläst uttryck: " + e) // För kontroll
    System.out.println(e.eval(variables));
  } catch (...) {
    ...
```

(Kräver lite eftertanke om vad kommandonas `toString`- och `eval`-metoder skall returnera)

Symbolisk evaluering

Som synes ovan evalueras ett lagrat uttryck genom att `eval`-metoden för dess rotnod anropas. Beroende på rotnodens typ kan eventuella operanders `eval`-metoder anropas. Dessa metoder utför helt enkelt en *postordertraversering* av trädet. En nods `eval`-metod avgör först vad som skall göras med operanderna. De flesta operatorers operander skall evalueras. Ett undantag finns dock: tilldelningsoperatören evaluerar sin vänstra men inte sin högra operand ($1+2 = a$ tilldelar *värdet* av $1+2$ dvs 3 till variabeln `a` — inte till värdet av variabel `a`)

Till evalueringsmetodernas hjälp skall ni skriva en klass `Symbolic` som har ett antal statiska metoder som utför olika symboliska operationer: symbolisk addition, subtraktion, ... Dessa metoder utför numeriska operationer när det går och gör förenklingar när det går men returnerar alltid ett uttryck av typ `Sexpr`

Exempel:

Sinusklassens evalueringsmetod ser typiskt ut så här:

```
public Sexpr eval(HashMap<String,Sexpr> variables){
    return Symbolic.sin(argument.eval(variables));
}
```

och metoden `sin` i klassen `Symbolic` har följande utseende:

```
public static Sexpr sin(Sexpr arg){
    if (arg.isConstant())
        return new Constant(Math.sin(arg.getValue()));
    else
        return new Sin(arg);
}
```

Observera att metoderna i `Symbolic` aldrig anropar någon `eval`-metod!

Liknande metoder skrivs för de övriga funktionerna samt för alla operatorer som kan utföra någon form av aritmetisk beräkning. Om det är möjligt att utföra en numerisk beräkning ska det ske, annars får man utföra operationen symboliskt genom att skapa en ny nod av lämplig typ. Observera dock att metoden alltid måste returnera ett `Sexpr`, även om den lyckats beräkna ett numeriskt värde.

Exemplet ovan visar även att det finns ett behov av metoder som `isConstant()` och `getValue()` i klassen `Sexpr`.

*Använd inte **instanceof** och inte heller typkastning utan utnyttja den dynamiska bindningen! Om man vill veta t.ex. om ett meddelande är "quit" implementeras detta lämpligen med hjälp av ett singleton-mönster (design pattern) och identitetsjämförelse eller annan teknik, t.ex. tillägg av metoder i rotklassen i `Sexpr`.*

När en variabel evalueras söker man efter den i variabellistan. Hittar man den där returnerar man dess värde, annars variabeln själv. Värdet som hämtas ur listan skall *inte* evalueras.

En konstant evalueras alltid till sig själv.

Att evaluera en tilldelning innebär att man evaluerar den vänstra operanden och lägger in dess värde i variabellistan som den högra operanden (variabeln). Det är sedan värdet av den evaluerade operanden som returneras.

Felhantering

I felhanteringen måste man skilja på *syntaxfel* (som inträffar under inläsningen) och *evalueringsfel* (som inträffar under evalueringen). Har ett syntaxfel inträffat måste man rensa bort resterna av det misslyckade uttrycket från input-strömmen. Rör det sig däremot om ett evalueringsfel har inläsningen gått bra och det räcker att meddela användaren vad som gick snett.

Arbetsgång

Uppgiften skall lösas stegvis. Se till att varje steg fungerar innan du går vidare! Lämpliga steg:

1. Definiera klasshierarkin. Ta endast med konstruktorer och `toString()`-metoder och låt dessa sätta ut parenteser "ovillkorligt".
2. Modifiera och bygg ut den parser som tidigare delats ut så att den bygger uttryck (utan evaluering).
3. Testa att enskilda uttryck hanteras rätt genom att skriva enhetstester för varje funktion i parsern.
4. Du kan testa kombinerade genom att skriva ett huvudprogram som läser in uttryck och sedan skriver ut det inlästa uttrycket. Ännu bättre är dock om du skriver automatiserade tester även för detta.
5. Implementera `priority()`- och modifiera `toString()`-metoderna så att de bara sätter ut parenteser vid behov.
6. Implementera klassen `Symbolic`. Gör bara "enkla" implementationer av typ "om båda operanderna i additionsmetoden är konstanter så skapa en ny konstant som summan av de två, annars skapa en ny additionsnod med samma operander". Implementera `eval`-metoderna för de nodklasser som skrivits samt de andra metoder som krävs för att evaluering skall kunna utföras.
7. Förbättra metoderna i klassen `Symbolic` så att de utför triviala förenklingar.
8. Luta dig tillbaka och se fram mot tentan med största lugn!

Observera

1. Programmet *skall* fungera i enlighet med specifikationen!
2. Koden *skall* vara läslig (innebär bl a att inga rader får vara längre än 80 tecken) och följa kodkonventionerna. Använd gärna t.ex. `Checkstyle`¹ för att kontrollera att koden följer "The Sun Code Conventions".
3. Du *skall* använda recursive descent såsom den i den tidigare utdelade parsern.

¹<http://checkstyle.sourceforge.net/>

4. Det *skall* finnas en metod för *varje* syntaktisk enhet (varje enskilt syntaxdiagram) och metoden skall ha de namn som anges där.
5. Du *skall* följa den givna klassdesignen i detalj dvs alla klasser skall finnas med de angivna namnen och de angivna metoderna.
6. Det är *förbjudet* att använda **instanceof** och typkastningar mellan olika klasser i klasshierarkin.
7. Upprepa inte identisk eller nästan identisk kod i olika klasser — en klass skall bara definiera det som är speciellt för den. Tänk särskilt på detta i konstrukturer (utnyttja **super!**) och `toString`-metoder!
8. Enhetstesterna för uppgifter *skall* passera utan fel. Du måste själv skriva enhetstester för parserdelen av uppgiften! Använd enkla exempel från uppgiftstexten!