Definite-Clause Grammars (DCG)
Gramatiky uspořádaných klauzulí

Syntaktická analýza

Významná aplikace Prologu: syntaktická analýza

- ```
  sentence --> noun_phrase, verb_phrase.

  noun_phrase --> determiner, noun.
  noun_phrase --> noun.

  verb_phrase --> verb, noun_phrase.
  verb_phrase --> verb.

  determiner --> [the].
  determiner --> [a].

  noun --> [student].
  noun --> [dcg].

  verb --> [likes].
  ```
- ```
  | ?- sentence([a, student, likes, dcg]).
  yes
  ```


DCG a CFG

- DCG (DC gramatiky) jsou rozšířením bezkontextových gramatik (CFG)
- Implementace DCG využívá rozdílových seznamů

Formální podobnosti mezi DCG a CFG:

- CFG: pravidla tvaru $x \rightarrow y$, kde
  - $x \in N$ je neterminál
  - $y \in (N \cup T)*$ je konečná posloupnost terminálů a neterminálů
- DCG: pravidla tvaru <hlava> `-->` <tělo>
  - <hlava> je opět neterminál
  - <tělo> je opět konečná posloupnost terminálů a neterminálů
- Pravidlo <hlava> `-->` <tělo> znamená, že
  - jedním z možných tvarů <hlavy> je <tělo>, neboli
  - <hlavu> je možno přepsat na <tělo>

Rozdíly a rozšíření DCG oproti CFG

- **Neterminál** může být téměř libovolný term, ovšem kromě seznamu, proměnné a čísla.
  - neterminál muže být složený term, tj. neterminálům lze přidat **argumenty**.
- **Terminál** může být libovolný term, s tím, že terminály a posloupnosti terminálů uzavíráme do hranatých závorek – jako **seznamy**.
  - hranaté závorky tedy odlišují terminály od neterminálů
- Pravá strana pravidla může obsahovat **dodatečné podmínky** v podobě prologovských podcílů. Tyto podmínky uzavíráme do složených závorek.
  - podmínky slouží jen pro testování, negenerují žádnou větnou formu
- Levá strana pravidla může dokonce vypadat i tak, že neterminál je následován posloupností terminálů.
- Tělo pravidla smí obsahovat řez.
  - nepodporováno všemi Prology

Příklad: gramatika

- ```
  sentence --> noun_phrase, verb_phrase.
  noun_phrase --> determiner, noun_phrase2.
  noun_phrase --> noun_phrase2.
  noun_phrase2 --> noun.
  noun_phrase2 --> adjective, noun_phrase2.
  verb_phrase --> verb.
  verb_phrase --> verb, noun_phrase.
  determiner --> [the].     noun --> [boy].
  determiner --> [a].       noun --> [song].
  verb --> [sings].         adjective --> [young].
  ```
- ```
  | ?- sentence(S,[]).
  S = [the,song,sings] ? ;
  S = [the,song,sings,the,song] ?
  | ?- sentence([the, young, boy, sings, a, song],[]).
  yes
  ```


Příklad: binární čísla

- DC gramatika `number` rozeznávající binární čísla:

```
number --> [0].
number --> [1].
number --> [0], number.
number --> [1], number.
| ?- number([0,1,0,1,1], []).                  yes
```

- Napište DCG `number2` pro rozpoznání binárních čísel bez vedoucích nul.
- Napište DCG `number3` rozpoznávající binární čísla, které jsou mocninou dvojky.

```
number2 --> [1].
number2 --> [1], number.

number3 --> [1], zeros.
zeros --> [].
zeros --> [0], zeros.
```


Příklad: neterminály s argumentem

- DC gramatika `digits` generuje binární čísla zapsaná jedinou číslicí:

```
digits --> same(0).            | ?- digits([1,1,0,1], []).
digits --> same(1).            no
same(N) --> [N].               | ?- digits([1,1,1], []).
same(N) --> [N], same(N).      yes
```

- Upravte kód tak, aby byly akceptovány jen korektní věty:

```
s --> np, vp.
np --> [zeny].
np --> [muzi].
vp --> [pracovali].
vp --> [pracovaly].

?- s([zeny, pracovali], []).
    yes
```

Nápověda: přidejte proměnnou pro rod (pro np a vp)

Řešení: neterminály s argumentem

Původně:

```
s --> np, vp.
np --> [zeny].
np --> [muzi].
vp --> [pracovali].
vp --> [pracovaly].
```

Řešení:

```
s --> np(Rod), vp(Rod).
np(z) --> [zeny].
np(mz) --> [muzi].
vp(mz) --> [pracovali].
vp(z) --> [pracovaly].
```

Generativní/rozpoznávací síla DCG: větší než CFG

- DCG dokáží generovat/rozpoznávat jazyky typu 0
- Cvičení: napište DCG gramatiku generující jazyk $a^n b^n c^n$
- ?- abc(X,[]).

```
X = [] ;
X = [a, b, c] ;
X = [a, a, b, b, c, c] ;
X = [a, a, a, b, b, b, c, c, c] ;
```

```
Nápověda: využijte a(s(s(s(0)))), b(s(s(s(0)))), c(s(s(s(0))))
abc --> a(N), b(N), c(N).
a(0) --> [].
a(s(N)) --> [a], a(N).
b(0) --> [].
b(s(N)) --> [b], b(N).
c(0) --> [].
c(s(N)) --> [c], c(N).
```


Pomocné podmínky v těle pravidel

Vyhodnocování výrazů

- E -> T + E | T

```
T -> num
```

```
expr(X) --> term(A), [+], expr(B), {X is A+B}.
expr(X) --> term(X).
term(X) --> [X], {number(X)}.
```

```
?- expr(X, [1,+,2,+,2], []).      X = 5
```

- Cvičení: přidejte operaci násobení

```
E -> N + E | N
N -> T * N | T
T -> num
```

```
expr(X) --> expr2(A), [+], expr(B), {X is A+B}.
expr(X) --> expr2(X).
expr2(X) --> term(A), [*], expr2(B), {X is A*B}.
expr2(X) --> term(X).
term(X) --> [X], {number(X)}.
```


Komplexní vyhodnocování výrazů

```
E -> T + E | T - E | T
T -> F * T | F / T | F
F -> (E) | f
```

```
expr(X) --> term(Y), [+], expr(Z), {X is Y+Z}.
expr(X) --> term(Y), [-], expr(Z), {X is Y-Z}.
expr(X) --> term(X).
term(X) --> factor(Y), [*], term(Z), {X is Y*Z}.
term(X) --> factor(Y), [/], term(Z), {X is Y/Z}.
term(X) --> factor(X).
factor(X) --> ['('], expr(X), [')'].
factor(X) --> [X], {integer(X)}.
```

```
% vyhodnocení výrazu 3+(4/2)-(2*6/3)
?- expr(X,[3,+,'(',4,/,2,')',-,'(',2,*,6,/,3,')'],[]).      X = 1
```

Argument neterminálu je použit jako výstupní proměnná, která v sobě nese hodnotu příslušného aritmetického výrazu.

Přepis do Prologu

Přepis do prologovského programu pomocí append/3:

- Větu reprezentujeme seznamem slov [the,young,boy,sings,a,song]
- **Pravidlová část** – neterminál chápeme jako unární predikát, jehož argumentem je ta větná složka, kterou daný neterminál popisuje

```
sentence(S) :- append(NP,VP,S),
               noun_phrase(NP), verb_phrase(VP).
...
```

- **Slovníková část** – zapisujeme ji pomocí faktů:

```
determiner([the]).        noun([boy]).
determiner([a]).          ...
```

Predikát append/3 zde *nedeterministicky* rozděluje aktuální větnou část na dva díly, což je velký zdroj neefektivnosti.

Lepší řešení poskytují *rozdílové seznamy*.

Přepis do Prologu pomocí rozdílových seznamů

- **Rozdílové seznamy** reprezentovány dvěma argumenty, první představuje neúplný seznam a druhý jeho zbytek append(S-S1, S1-S0, S-S0)
- Při volání predikátu S-S0 je spojením: S-S3, S3-S2, S2-S1, S1-S0 sentence/2 je druhý argument prázdný; neúplný seznam tím uzavíráme tj. S0=[ ]

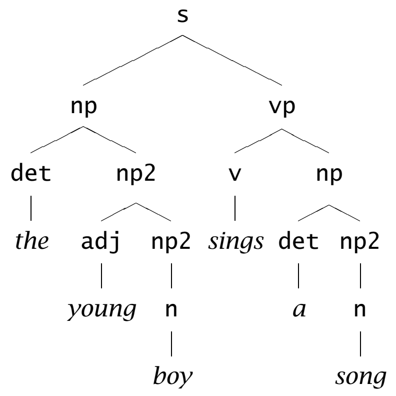
```
sentence(S,S0):- noun_phrs(S,S1), verb_phrs(S1,S0).
noun_phrs(S,S0):- determiner(S,S1), noun_phrs2(S1,S0).
noun_phrs(S,S0):- noun_phrs2(S,S0).
noun_phrs2(S,S0):- adjective(S,S1), noun_phrs2(S1,S0).
noun_phrs2(S,S0):- noun(S,S0).
verb_phrs(S,S0):- verb(S,S0).
verb_phrs(S,S0):- verb(S,S1), noun_phrs(S1,S0).

determiner([the|S],S).       noun([boy|S],S).
determiner([a|S],S).         noun([song|S],S).
verb([sings|S],S).           adjective([young|S],S).

?- sentence([the,young,boy,sings,a,song],[]).           yes
```


Derivační strom analýzy

```
?- sentence(Tree, [the,young,boy,sings,a,song],[]).
Tree=s( np( det(the), np2( adj(young), np2(n(boy) ) ) ),
        vp( v(sings), np( det(a), np2( n(song) ) ) ) )
```



Konstrukce derivačního stromu

- Neterminály opatříme argumentem:

```
sentence(s(NP,VP)) --> noun_phrase(NP), verb_phrase(VP).
noun(n(mama)) --> [mama].
noun(n(kralika)) --> [kralika].
verb(v(pekla)) --> [pekla].
```

- Doplňte gramatiku, aby platilo:

```
| ?- sentence(X, [mama,pekla,kralika], []).
X = s(np(n(mama)),vp(v(pekla),np(n(kralika))))      yes

sentence(s(N,V)) --> noun_phrase(N), verb_phrase(V).
noun_phrase(np(N)) --> noun(N).
verb_phrase(vp(V)) --> verb(V).
verb_phrase(vp(V, N)) --> verb(V), noun_phrase(N).

noun(n(mama)) --> [mama].
noun(n(kralika)) --> [kralika].
verb(v(pekla)) --> [pekla].
```


Konstrukce derivačního stromu II.

Pokud však rozšíříme slovník:

```
noun(n(tata)) --> [tata].
verb(v(pekl)) --> [pekl].
```

Narazíme na problém se shodou podmětu a přísudku (mimo stávající problém „kralíka pekla máma"):

```
?- sentence(_,[tata, pekla, kralika],[]).
yes

?- sentence(_,[mama, pekl, kralika],[]).
yes
```

Proto rozšiřte neterminály o další argumenty (rod, pád)

Konstrukce derivačního stromu (řešení)

Tento nový argument poskytuje pro odpovídající větnou složku informaci o jejím rodu a pádu – unifikací příslušných proměnných zajistíme shodu v této gramatické kategorii.

```
sentence(s(N,V)) --> noun_phrase(N, Rod, c1), verb_phrase(V, Rod).
noun_phrase(np(N), Rod, Pad) --> noun(N, Rod, Pad).
verb_phrase(vp(V), Rod) --> verb(V, Rod).
verb_phrase(vp(V, N), Rod) --> verb(V, Rod), noun_phrase(N, _Rod2, c4).

noun(n(mama), z, c1) --> [mama].
noun(n(tata), mz, c1) --> [tata].
noun(n(kralika), mn, c4) --> [kralika].
verb(v(pekla), z) --> [pekla].
verb(v(pekl), mz) --> [pekl].
```


Vestavěné nástroje

- operátor `-->` definován jako `?-op(1200,xfx,-->).`
- predikáty `phrase/2`, `phrase/3`, které slouží k jednoduché *tokenizaci*

```
?- phrase(abc,[a,b,c]).          % Yes
?- phrase(abc,[a,b,c,d],[d]).    % Yes
```