Zpracování přirozeného jazyka

Aleš Horák

E-mail: hales@fi.muni.cz

http://nlp.fi.muni.cz/uui/

Obsah:

- ➜ Zpracování přirozeného jazyka
- ➜ DC gramatiky – gramatiky uspořádaných klauzulí
- ➜ Syntaktická analýza přirozeného jazyka

PŘIROZENÝ JAZYK – PROSTŘEDEK KOMUNIKACE

komunikace = cílená výměna informace pomocí produkce a vnímání (sdílených) **pokynů**

- zvířata – až stovky pokynů (šimpanz, delfín, . . .)
- člověk – potenciálně neomezené množství, díky přirozenému jazyku

2 náhledy na **přirozený jazyk**:

❑ **klasický (před 1953)** – jazyk se skládá z vět, které jsou buď pravdivé nebo nepravdivé (srovnej s logikou)

❑ **moderní (po 1953)** – užití jazyka je jedna z možných **akcí**

Wittgenstein (1953) **Philosophical Investigations**
Searle (1969) **Speech Acts**

Turingův test založen na jazyku ⇐ jazyk je pevně spojen s **myšlením**

komunikace se tvoří pomocí **řečových aktů** (*speech acts*) jako jeden z typů agentových akcí

cíl komunikace – **změnit** akce ostatních agentů

Řečové akty

SITUACE
Mluvčí (*speaker*) → **Promluva** (*utterance*) → **Posluchač** (*hearer*)

řečové akty směřují k naplnění cílů mluvčího:

– **informovat** (inform)	"Před tebou je jáma."
– **ptát se** (query)	"Vidíš zlato?"
– **přikázat/žádat** (command/request)	"Zvedni to."
– **slíbit/svěřit se s plánem** (promise, commit to plan)	"Rozdělím se s tebou o zlato."
– **potvrdit** (acknowledge)	"OK"

plánování řečových aktů vyžaduje znalosti:
- situace
- sémantiky a syntaxe (sdílených konvencí)
- informace o Posluchači – cíle, znalosti, rozumnost

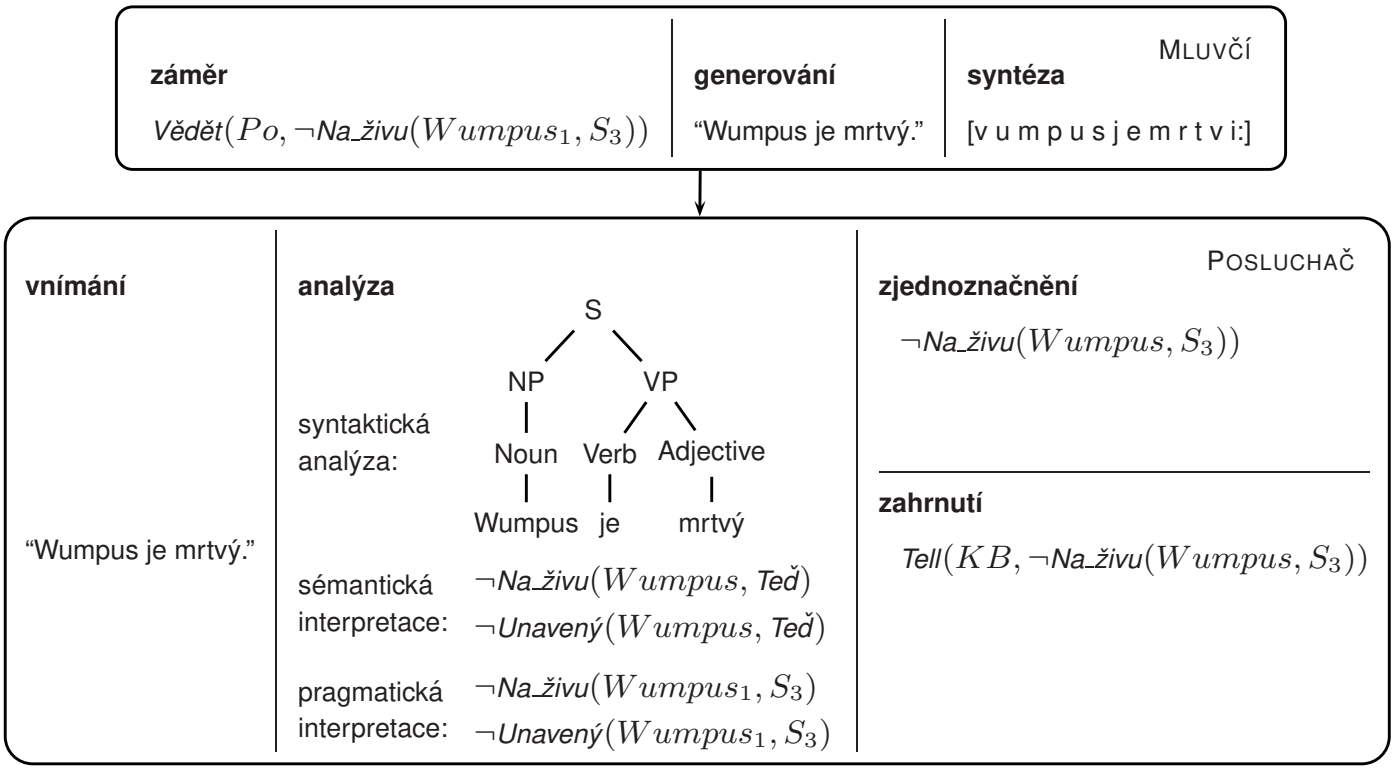
Komunikační fáze (při informování)

průběh promluvy je možné rozložit na **fáze**:

– **záměr** (intention)	M chce informovat Po, že Pr
– **generování** (generation)	M vybírá slova W pro vyjádření Pr
– **syntéza** (synthesis)	M říká slova W
– **vnímání** (perception)	Po vnímá W'
– **analýza** (analysis)	Po odvozuje možné významy $Pr_1, \ldots, Pr_n$
– **zjednoznačnění** (disambiguation)	Po vybírá zamýšlený význam Pr_i
– **zahrnutí** (incorporation)	Po zahrne Pr_i do své báze znalostí

Může přitom vzniknout **chyba**?
- neupřímnost (Po nevěří Pr)
- víceznačnost promluvy (Po zvolí špatné Pr_i)
- různé pochopení aktuální situace (zamýšlený význam mezi Pr_i není)

KOMUNIKAČNÍ FÁZE – PŘÍKLAD



GRAMATIKA

zvířata používají místo vět izolované symboly ⇒ **omezená** sada komunikovatelných situací
→ žádná **generativní kapacita**

gramatika specifikuje skladební strukturu složených pokynů – definuje *formální jazyk* pokynů

formální jazyk = množina **řetězců** (vět) **teminálních symbolů** (slov)

2 náhledy na vztah věty a gramatiky:
- S je správný řetězec/věta z jazyka ⇔ S je **analyzovatelný** příslušnou gramatikou
- příslušná gramatika **generuje** S ⇔ S je správný řetězec/věta z jazyka

gramatika je zadána jako množina **přepisovacích pravidel**, např.

$S \rightarrow NP\ VP$
$Pronoun \rightarrow$ já | ty | on | ...

v tomto příkladu:

S	**větný symbol** – kořenový symbol gramatiky
NP, VP	**neterminály**
já, ty, ...	**terminály**

TYPY GRAMATIK

gramatiky:

❑ **regulární** (regular) neterminál → **terminál**[neterminál]

S → **a**S
S → **b**

ekvivalentní síle **konečných automatů**, neumí $a^n b^n$

❑ **bezkontextové** (context-free) neterminál → cokoliv

S → **a**S**b**

ekvivalentní síle **zásobníkových automatů**, umí $a^n b^n$, neumí $a^n b^n c^n$

❑ **kontextové** (context-sensitive) – víc neterminálů na levé straně; na levé straně se jejich počet "zmenšuje"

ASB → AA**a**BB

umí $a^n b^n c^n$

❑ **rekurzivně vyčíslitelné** (recursively enumerable) – bez omezení

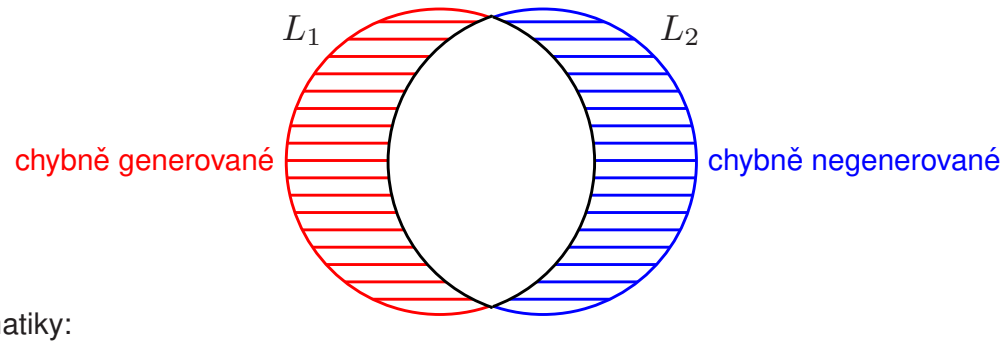
ekvivalentní síle **Turingova stroje**

přirozený jazyk byl dlouho pokládán za bezkontextový → nyní prokázáno, že obsahuje **kontextové prvky**

PŘESNOST A POKRYTÍ GRAMATIKY

u složitějších jazyků (např. přirozených)

→ jazyk L_1 (generovaný gramatikou) se liší od zamýšleného jazyka L_2



kvalita gramatiky:

- **pokrytí** – procento vět jazyka L_2 generovatelných gramatikou ($|L_1 \cap L_2|/|L_2|$)
- **přesnost** – procento generovaných vět, které jsou správné věty jazyka L_2 ($|L_1 \cap L_2|/|L_1|$)

tvorba gramatiky . . . postupný proces zvyšování pokrytí a přesnosti

gramatiky přirozených jazyků – velmi rozsáhlé a přesto většinou nepopisují plně ani angličtinu ☹

DC GRAMATIKY – GRAMATIKY USPOŘÁDANÝCH KLAUZULÍ

- ➜ *Definite-Clause Grammars*, **DCG**
- ➜ významná aplikace Prologu – *syntaktická analýza*
- ➜ DCG jsou **rozšířením bezkontextových gramatik** (CFG)
- ➜ jejich implementace využívá *rozdílových seznamů*

Formální podobnosti mezi DCG a CFG:

- ➜ CFG: pravidla tvaru $x \rightarrow y$, kde $x \in N$ je neterminál a $y \in (N \cup T)^*$ je konečná posloupnost terminálů a neterminálů
- ➜ DCG: pravidla tvaru ⟨**hlava**⟩ **–->** ⟨**tělo**⟩, kde ⟨**hlava**⟩ je opět neterminál a ⟨**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

1. **Neterminál** může být téměř libovolný term, kromě *seznamu*, *proměnné* a *čísla*.
2. **Terminál** může být libovolný term, s tím, že terminály a posloupnosti terminálů uzavíráme do hranatých závorek – jako **seznamy**.
3. Pravá strana pravidla může obsahovat **dodatečné podmínky** v podobě prologovských podcílů. Tyto podmínky uzavíráme do složených závorek.
4. Levá strana pravidla může dokonce vypadat i tak, že neterminál je následován posloupností terminálů.
5. Tělo pravidla smí obsahovat řez.

DC GRAMATIKA – PŘÍKLAD 1

gramatika vět typu “The young boy sings a song.”

```
% 1. část -- pravidla
sentence --> noun_phrase, verb_phrase.

noun_phrase --> determiner, noun_phrase2.
noun_phrase --> noun_phrase2.

noun_phrase2 --> adjective, noun_phrase2.
noun_phrase2 --> noun.

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

% 2. část -- lexikon
determiner --> [the].      noun --> [boy].
determiner --> [a].        noun --> [song].

verb --> [sings].          adjective --> [young].
```


ANALÝZA V PROLOGU POMOCÍ APPEND

- ➜ 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**, **lexikon** – zapisujeme pomocí faktů:

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

Efektivněji – rozdílové seznamy

přepis gramatiky do Prologu pomocí **rozdílových seznamů**:

```
sentence(S,S0) :- noun_phrase(S,S1), verb_phrase(S1,S0).

noun_phrase(S,S0) :- determiner(S,S1), noun_phrase2(S1,S0).
noun_phrase(S,S0) :- noun_phrase2(S,S0).
noun_phrase(S,S0) :- adjective(S,S1), noun_phrase2(S1,S0).
noun_phrase2(S,S0) :- noun(S,S0).
verb_phrase(S,S0) :- verb(S,S0).
verb_phrase(S,S0) :- verb(S,S1), noun_phrase(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
```


Lexikon pro agenta ve Wumpusově jeskyni

rozdělení slov do **kategorií**:

podst. jméno:	***Noun***	→	zápach | vánek | třpyt | nic | wumpuse | jáma | zlato | ...
sloveso:	***Verb***	→	jsem | je | vidím | cítím | působí | zapáchá | jdu | ...
příd. jméno:	***Adjective***	→	levý | pravý | východní | jižní | ...
příslovce:	***Adverb***	→	tady | tam | blízko | vpředu | vpravo | vlevo | východně | jižně | vzadu | ...
vl. jméno:	***Name***	→	Petr | Honza | Brno | FI MU | ...
zájmeno:	*Pronoun*	→	já | ty | mě | toho | ten | ta ...
předložka:	*Preposition*	→	do | v | na | u | ...
spojka:	*Conjunction*	→	a | nebo | ale | ...
číslice:	*Digit*	→	0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9

kategorie můžeme dělit na **otevřené** (vyvíjející se) a uzavřené (stálé)

Morfologická analýza

➜ V češtině u lexikonu nestačí prostý výčet tvarů – je nutná **morfologická analýza** (morfologie=tvarosloví)

➜ skloňovaná a časovaná slova se rozkládají na **segmenty**

pří-lež-it-ost-n-ými

pří – prefix; *lež* – kořen; *it*, *ost*, *n* – suffixy; *ými* – koncovka

➜ každé slovo má **základní tvar** (*lemma*), podle **koncovky** se určují gramatické kategorie

```
% slovník základních gramatických kategorií -- pád, číslo, rod
% adj(+Slovo, +Lemma, +Pad, +Cislo, +Rod)
adj(chytrý, chytrý, 1, sg, mz).   adj(chytrého, chytrý, 2, sg, mz).   adj(chytří, chytrý, 1, pl, mz).
```

➜ reálná morfologická analýza ČJ – program Ajka na FI MU

```
ajka>nejneuvěřitelněji
<s> nej-ne=uvěřiteln==ěji= (1022)
    <l>uvěřitelně
    <c>k6xMeNd3
```

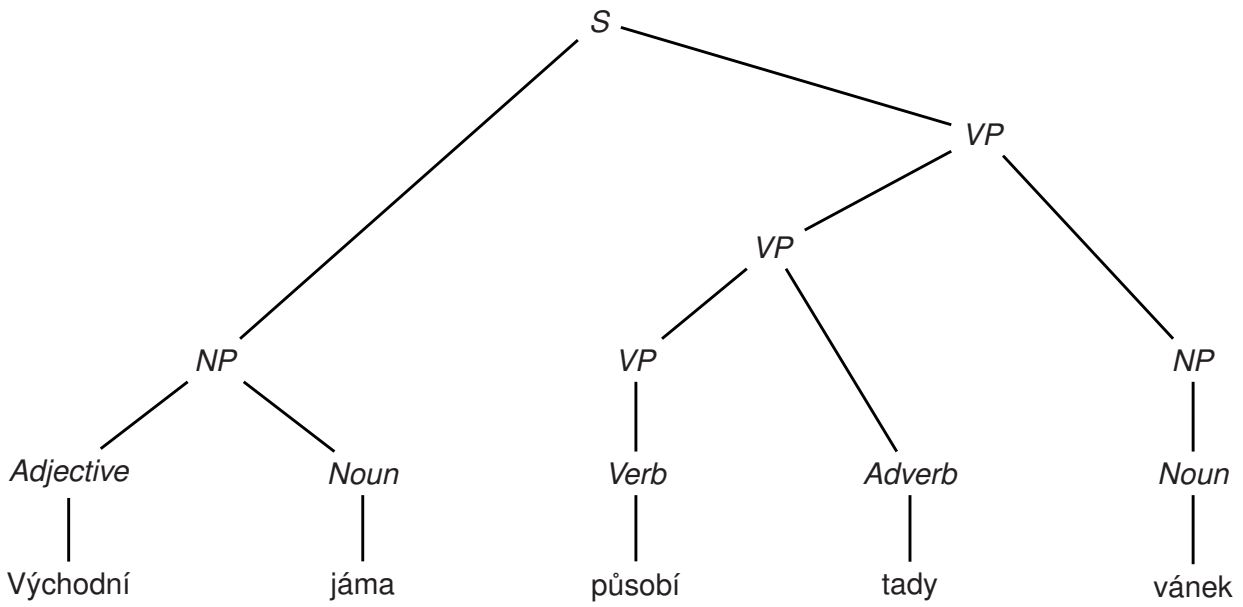
```
ajka>hnát
<s> ==hná=t= (618)
    <l>hnát
    <c>k5eAmFaI
<s> =hnát=== (1030)
    <l>hnát
    <c>k1gInSc1
    <c>k1gInSc4
```


Gramatická pravidla pro agenta ve Wumpusově jeskyni

S	→	*NP VP*	%	já + cítím vánek
	|	*S Conjunction S*	%	já cítím vánek + a + já jdu na východ
NP	→	*Pronoun*	%	já
	|	*Noun*	%	jáma
	|	*Adjective Noun*	%	levá jáma
	|	*Pronoun NP*	%	toho + wumpuse
	|	*Noun Digit* ',' *Digit*	%	pole + 3,4
	|	*NP PP*	%	jáma + na východě
	|	*NP RelClause*	%	toho wumpuse + ,který zapáchá
VP	→	*Verb*	%	zapáchá
	|	*VP NP*	%	cítím + vánek
	|	*VP Adjective*	%	je + třpytivý
	|	*VP PP*	%	jdu + na východ
	|	*VP Adverb*	%	jdu + dopředu
PP	→	*Preposition NP*	%	na + východ
RelClause	→	', který' *VP*	%	,který + zapáchá

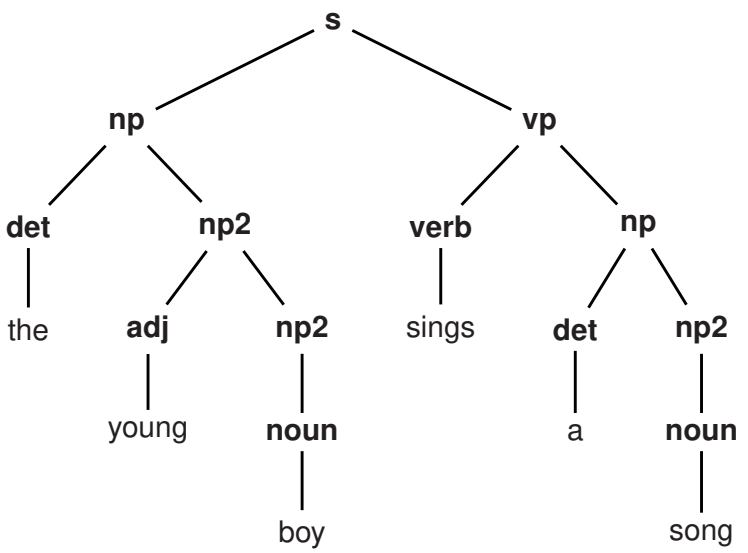
Syntaktický strom

syntaktický strom vzniká během **syntaktické analýzy** a dává **záznam** o jejím průběhu:



Derivační strom analýzy v DC gramatikách

```
?– sentence(Tree, [the, young, boy, sings, a, song ], []).
    Tree=s(np(det(the), np2(adj(young), np2(noun(boy)))),
           vp(verb(sings), np(det(a), np2(noun(song)))))
```



KONSTRUKCE DERIVAČNÍHO STROMU

Neterminály opatříme argumentem:

```
sentence(sentence(NP,VP)) --> noun_phrase(NP), verb_phrase(VP).
```

Převod do podoby klauzulí:

```
sentence(sentence(NP,VP),S,S0) :- noun_phrase(NP,S,S1), verb_phrase(VP,S1,S0).
```


DC GRAMATIKA S KONSTRUKCÍ STROMU ANALÝZY

```
sentence(s(N,V)) --> noun_phrase(N), verb_phrase(V).
noun_phrase(np(D,N)) --> determiner(D), noun_phrase2(N).
noun_phrase(np(N)) --> noun_phrase2(N).
noun_phrase2(np2(A,N)) --> adjective(A), noun_phrase2(N).
noun_phrase2(np2(N)) --> noun(N).
verb_phrase(vp(V)) --> verb(V).
verb_phrase(vp(V,N)) --> verb(V), noun_phrase(N).

determiner(det(the)) --> [the].
determiner(det(a)) --> [a].
adjective(adj(young)) --> [young].
noun(noun(boy)) --> [boy].
noun(noun(song)) --> [song].
verb(verb(sings)) --> [sings].

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

TEST NA SHODU

Pokud však rozšíříme slovník:

```
noun(noun(boys)) −−> [boys].
verb(verb(sing)) −−> [sing].
```

Narazíme na problém se shodou v čísle:

```
?− sentence(_,[a, young, boys, sings ],[]).
Yes

?− sentence(_,[a, boy, sing ],[]).
Yes
```

Proto rozšíříme neterminály o další argument **Num**, ve kterém můžeme testovat shodu:

```
sentence(sentence(NP,VP)) −−> noun_phrase(NP,Num), verb_phrase(VP,Num).
```


DC GRAMATIKA S TESTY NA SHODU

```
sentence(sentence(N,V)) −−> noun_phrase(N,Num), verb_phrase(V,Num).
noun_phrase(np(D,N),Num) −−> determiner(D,Num), noun_phrase2(N,Num).
noun_phrase(np(N),Num) −−> noun_phrase2(N,Num).
noun_phrase2(np2(A,N),Num) −−> adjective(A), noun_phrase2(N,Num).
noun_phrase2(np2(N),Num) −−> noun(N,Num).
verb_phrase(vp(V),Num) −−> verb(V,Num).
verb_phrase(vp(V,N),Num) −−> verb(V,Num), noun_phrase(N,Num1).

determiner(det(the),_) −−> [the].      noun(noun(boy),sg) −−> [boy].
determiner(det(a),sg) −−> [a].         noun(noun(song),sg) −−> [song].
verb(verb(sings),sg) −−> [sings].      noun(noun(boys),pl) −−> [boys].
verb(verb(sing),pl) −−> [sing].        noun(noun(songs),pl) −−> [songs].
adjective(adj(young)) −−> [young].

?− sentence(_,[a, young, boys, sings ],[]).
   No
?− sentence(_,[the,boys,sings,a,song ],[]).
   No
?− sentence(_,[the,boys,sing,a,song ],[]).
   Yes
```

PODMÍNKY V TĚLE PRAVIDEL

DC gramatiky mohou mít pomocné **podmínky** v těle pravidel – libovolný **Prologovský kód**

např. CFG pro vyhodnocení artimetického výrazu:

$$E \rightarrow T + E \mid T - E \mid T$$
$$T \rightarrow F * T \mid F/T \mid F$$
$$F \rightarrow (E) \mid f$$

zapíšeme **včetně výpočtu** hodnoty výrazu:

```
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)}.

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


GENERATIVNÍ SÍLA DCG

Generativní (rozpoznávací) **síla** DCG je **větší** než CFG

např. jazyk $a^n b^n c^n$:

```
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).

?- abc(X,[]).
X = [] ;
X = [a, b, c] ;
X = [a, a, b, b, c, c] ;
X = [a, a, a, b, b, b, c, c, c] ;
...
```

Význam synaktické analýzy

- ➜ analýza syntaxe je **nutná** pro analýzu **významu**
- ➜ většina teorií analýzy významu dodržuje **princip kompozicionality**:

  Význam složeného výrazu je funkcí významu jednotlivých podvýrazů
- ➜ **proces** sémantické analýzy:
  - buď vychází z **výsledků** syntaktické analýzy
  - nebo **probíhá současně** se syntaktickou analýzou; pak může zasahovat i do tvorby syntaktického stromu

Problémy při analýze přirozeného jazyka

- ➜ víceznačnost
- ➜ anaforické výrazy
- ➜ indexické výrazy
- ➜ nejasnost
- ➜ nekompozicionalita
- ➜ struktura promluvy
- ➜ metonymie
- ➜ metafory

VÍCEZNAČNOST

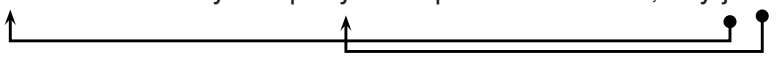
- ➜ *ambiguity*
- ➜ **víceznačnost** může být **lexikální**, **syntaktická**, **sémantická** a **referenční**
- ➜ lexikální – “stát,” “žena,” “hnát”
- ➜ syntaktická – “Jím špagety s masem.”
  “Jím špagety se salátem.”
  “Jím špagety s použitím vidličky.”
  “Jím špagety se sebezapřením.”
  “Jím špagety s přítelem.”
- ➜ sémantická – “Jeřáb je vysoký.” “Viděli jsme veliké oko.”
- ➜ referenční – “Oni přišli pozdě.” “Můžeš mi půjčit knihu?” “Ředitel vyhodil dělníka, protože (on) byl agresivní.”

ANAFORICKÉ A INDEXICKÉ VÝRAZY

anaforické výrazy:

- ➜ *anaphora*
- ➜ používají **zájmena** pro odkazování na objekty zmíněné **dříve**
- ➜ “Poté co se Honza s Marií rozhodli se vzít, (oni) vyhledali kněze, aby je oddal.”

- ➜ “Marie uviděla ve výloze prstýnek a požádala Honzu, aby jí ho koupil.”



indexické výrazy:

- ➜ *indexicals*
- ➜ **odkazují** se na údaje v **jiných částech** promluvy
- ➜ “Já jsem tady.”
- ➜ “Proč jsi to udělal?”

Metafora a metonymie

metafora:

- *metaphor*
- použití slov v **přeneseném významu** (na základě podobnosti), často systematicky
- "Zkoušel jsem ten proces zabít, ale nešlo to."
- "Bouře se vzteká."

metonymie:

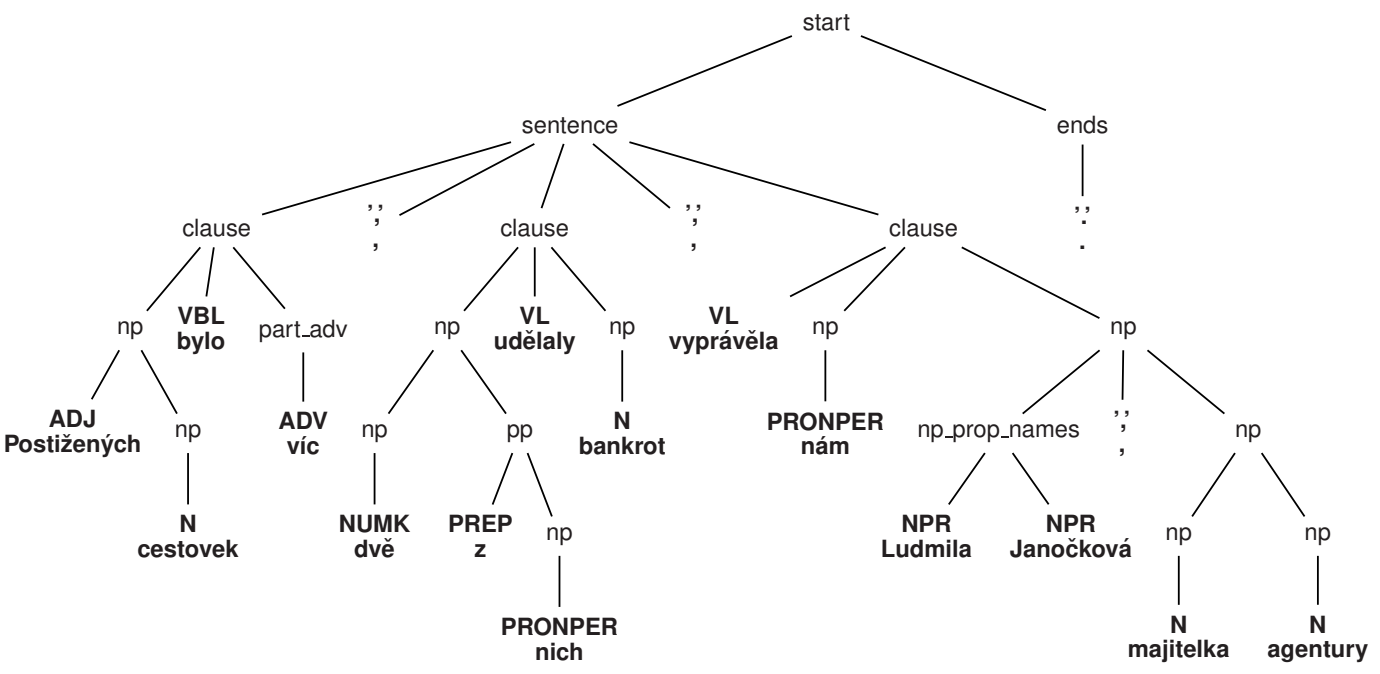
- *metonymy*
- používání **jména** jedné **věci** pro (často zkrácené) označení **věci jiné**
- "Čtu Shakespeara."
- "Chrysler oznámil rekordní zisk."
- "Ten pstruh na másle u stolu 3 chce další pivo."

Nekompozicionalita

- *noncompositionality*
- příklady **porušení pravidla kompozicionality** u ustálených termínů nebo přednost jiného možného významu při určitých spojeních
- "aligátoří boty," "basketbalové boty," "dětské boty"
- "pata sloupu"
- "červená kniha," "červené pero"
- "bílý trpaslík"
- "dřevěný pes," "umělá tráva"
- "velká molekula"

SYNTAKTICKÁ ANALÝZA PŘIROZENÉHO JAZYKA

- ➜ velice **rozsáhlé gramatiky** (desítky až stovky tisíc pravidel)
- ➜ **silná víceznačnost** – někdy až obrovské množství ($>$miliardy) možných syntaktických stromů

  Obehnat Šalounův pomník mistra Jana Husa na pražském Staroměstském náměstí živým plotem z hustých keřů s trny navrhuje občanské sdružení Společnost Jana Jesenia.
- ➜ existují efektivní algoritmy pro takové gramatiky
  např. **tabulkový analyzátor** (*chart parser*), beží v $O(n^3)$, tisíce slov/sekundu

PŘÍKLAD STROMU ANALÝZY V SYSTÉMU SYNT