Gramatické formalismy pro ZPJ

Aleš Horák

E-mail: hales@fi.muni.cz
http://nlp.fi.muni.cz/nlp_intro/

Obsah:

- Gramatické formalismy
- Kategoriální gramatiky
- Závislostní gramatiky
- Stromové gramatiky TAG a LTAG
- HPSG – Head-driven Phrase Structure Grammar

Gramatické formalismy

- existuje množství různých přístupů k formální specifikaci gramatik (přirozených jazyků), různé gramatické formalismy
- nejznámější formalismy:
  - *lexikální funkční gramatiky* – Lexical Functional Grammar, *LFG*
  - kategoriální gramatiky – categorial grammars, CG
  - závislostní gramatiky – dependency grammars
  - stromové gramatiky – (Lexicalized) Tree Adjoining Grammar, (L)TAG
  - gramatiky příznakových struktur – Head Phrase Structure Grammar, HPSG
- soustředíme se na zápis gramatiky (notaci)

Kategoriální gramatiky

- existuje několik různých variant notace

$$\dfrac{\dfrac{\dfrac{\text{šikovní}}{NP/N}\quad\dfrac{\text{psi}}{N}}{NP}>\qquad\dfrac{\dfrac{\text{mají rádi}}{(S\backslash NP)/NP}\quad\dfrac{\text{kočky}}{NP}}{S\backslash NP}>}{S}<$$

- jiný rozšířený zápis – výsledek na vrcholku (result on top) Lambek 1958

$$\dfrac{\dfrac{\dfrac{\text{šikovní}}{NP/N}\quad\dfrac{\text{psi}}{N}}{NP}>\qquad\dfrac{\dfrac{\text{mají rádi}}{(NP\backslash S)/NP}\quad\dfrac{\text{kočky}}{NP}}{NP\backslash S}>}{S}<$$

Kategoriální gramatiky

- kategoriální gramatika (categorial grammar, CG) – skupina teorií syntaxe a sémantiky PJ s velkým důrazem na lexikon
- neobsahuje *pravidla* pro kombinování slov → lexikální kategorie slov tvoří funkce, které určují, jak se dané kategorie kombinují s jinými výraz je výsledkem aplikace podvýrazů na sebe

  pěkný := NP/N ... funkce, která má argument N a vrací NP

- zakladatelé generativních gramatik – Leśniewski (publ. 1929) a Ajdukiewicz (publ. 1935) ve vazbě na Husserlovu a Russellovu teorii kategorií a teorii typů
- první použití kategoriálních gramatik pro popis přirozeného jazyka – Jehošua Bar-Hillel, 1953

Notace kategoriálních gramatik

kategoriální gramatika je šestice $\langle \Sigma, C_{base}, C, Lex, RS, C_{complete} \rangle$, kde

1. Σ je konečná množina slov
2. C_{base} je konečná množina základních kategorií (funkčních typů)
3. C je množina kategorií definovaná induktivně takto:
   a) $C_{base} \subseteq C$
   b) pokud $X, Y \in C$, potom i $(X/Y) \in C$ a $(X\backslash Y) \in C$
   c) C obsahuje pouze prvky dané výše uvedenými body a) a b)
4. $Lex \subseteq \Sigma \times C$ je konečná množina – lexikon (zapisujeme v indexovém tvaru $\texttt{slovo}_{kategorie}$)
5. RS je množina následujících schémat pravidel:
   a) $\alpha_{(X/Y)} \circ \beta_{(Y)} \rightarrow \alpha\beta_{(X)}$
   b) $\beta_{(Y)} \circ \alpha_{(X\backslash Y)} \rightarrow \beta\alpha_{(X)}$,
   kde $\alpha, \beta \in \Sigma$ a $X, Y \in C$
6. $C_{complete} \subseteq C$ je množina dokončených (kompletních) kategorií

Notace kategoriálních gramatik – pokrač.

- daná schémata umožňují 2 způsoby kombinace:
  - argument vpravo (/) – $\alpha_{(X/Y)} \circ \beta_{(Y)} \rightarrow \alpha\beta_{(X)}$
  - argument vlevo (\) – $\beta_{(Y)} \circ \alpha_{(X\backslash Y)} \rightarrow \beta\alpha_{(X)}$
- tento typ kategoriální gramatiky označoval Bar-Hillel jako obousměrný (bidirectional CG)
- `Karel miluje Marii`:
  - bázové kategorie $= \{NP, S\}$
  - kategorie z lexikonu: $\texttt{Karel}_{(NP)}$, $\texttt{Marii}_{(NP)}$, $\texttt{miluje}_{((S\backslash NP)/NP)}$
  - $C_{complete} = \{S\}$
- v tomto tvaru je odvození ekvivalentní derivačním stromům CFG
- existují ale rozšíření kategoriálních gramatik, která vedou k systémům s vyšší vyjadřovací silou, než mají standardní CFG

Rozšíření kategoriálních gramatik

- klíčový problém – nespojité větné části, tzv. neprojektivity
- řešení pomocí rozšíření CG – přídavné kombinatorické operátory založené na typech
- dva možné přístupy:
  - pravidlově orientovaný přidává pravidla odpovídající jednoduchým operacím nad kategoriemi, jako jsou:
    - wrap – komutace argumentů
    - type-raising – aplikace typů podobná aplikaci tradičních pádů na jmenné fráze
    - comp – kompozice funkcí

    k nejpropracovanějším systémům tohoto typu patří kombinatorické kategoriální gramatiky (CCG).
  - deduktivní přístup vychází z Lambekova syntaktického kalkulu
    - pohled na kategoriální lomítko (slash) jako formu logické implikace
    - axiomy a inferenční pravidla potom definují teorii důkazu
      např. *aplikace funkce* $\approx$ pravidlo *modus ponens* $P \wedge (P \Rightarrow Q) \Rightarrow Q$

OpenCCG library – `http://openccg.sourceforge.net/`

Závislostní gramatiky

- blízko ke kategoriálním gramatikám – vztah závislosti mezi řídícími a závislými větnými členy
- vhodné pro popis jazyků s volným slovosledem
- používají výhradně lexikalizovaných uzlů (v závislostním stromu) – neexistují žádné neterminály
  → závislostní analýza se jeví *jednodušší*
- využívá valence či subkategorizace – vztah mezi jedním slovem a jeho argumenty
  typicky vztah mezi slovesem a jeho možnými doplněními:

```
nosit
= koho|co
= komu & koho|co
```

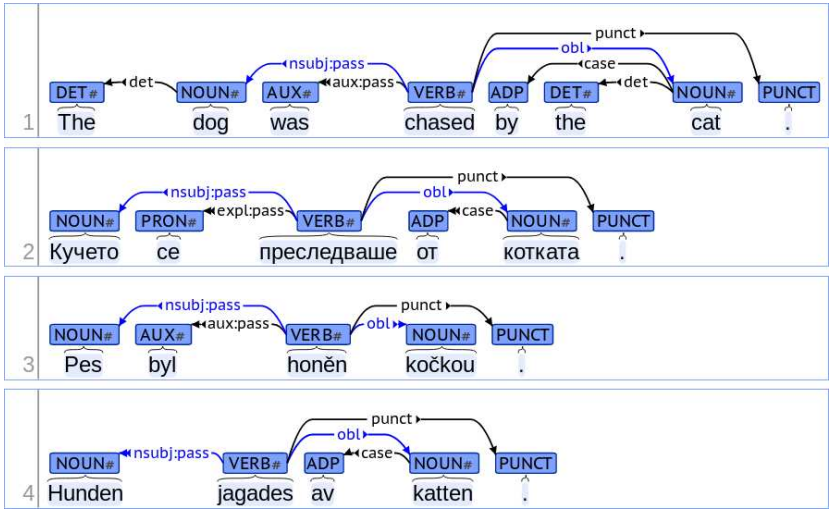
Závislostní gramatiky – pokrač.

hlavní přístupy:

- navazuje na evropskou lingvistickou tradici – až k antice
- nejstarší užití – Tesnière 1959
- funkční generativní popis (*Functional Generative Description*, FGD) – jeden z nejpropracovanějších závislostních systémů, pražská lingvistická škola (Sgall, Hajičová, Panevová)
- LG, Link Grammar – Temperley, Carnegie Mellon University `http://www.link.cs.cmu.edu/link/`
- UDG, *Unification Dependency Grammar* – Maxwell
- MTT, *Meaning-Text Theory* – Mel'čuk
- WG, *Word Grammar* – Hudson
- Lexicase – Starosta
- FG, *Functional Grammar* – Dik
- DUG, *Dependency Unification Grammar* – Halliday

Universal Dependencies

- www.universaldependencies.org, UD
- sjednocení závislostní anotace pro různé jazyky
- cca 200 stromových bank (*treebanks*) ve více než 100 jazycích



Google Universal Tagset

- gramatiky pro jednotlivé jazyky založené na podobných principech
- detaily značkování ale často nejsou převoditelné 1:1
- sjednocení – značkování v UD založené na minimalistické Google Universal Tagset

Open class words	Closed class words	Other
ADJ	ADP	PUNCT
ADV	AUX	SYM
INTJ	CCONJ	X
NOUN	DET	
PROPN	NUM	
VERB	PART	
	PRON	
	SCONJ	

Universal Features

- značky z Universal Tagset vymezují základní třídy
- lexikální a gramatické vztahy popisují Universal Features

Lexical features	Inflectional features	
	Nominal	Verbal
PronType	Gender	VerbForm
NumType	Animacy	Mood
Poss	Number	Tense
Reflex	Case	Aspect
Foreign	Definite	Voice
Abbr	Degree	Evident
		Polarity
		Person
		Polite

Universal Dependencies

1	Správkyně	Správkyně	NOUN	Case=Nom|Gender=Fem|Number=Sing|Polarity=Pos
2	dědictví	dědictví	NOUN	Case=Gen|Gender=Neut|Number=Sing|Polarity=Pos
3	Nováková	Nováková	PROPN	Case=Nom|Gender=Fem|NameType=Sur|Number=Sing|Polarity=Pos
4	označila	označit	VERB	Aspect=Perf|Gender=Fem,Neut|Number=Plur,Sing|Polarity=Pos|Tense=Past|VerbForm=Part|Voice=Act
5	pondělní	pondělní	ADJ	Case=Acc|Degree=Pos|Gender=Neut|Number=Sing|Polarity=Pos
6	rozhodnutí	rozhodnutí	NOUN	Case=Acc|Gender=Neut|Number=Sing|Polarity=Pos
7	za	za	ADP	AdpType=Prep|Case=Acc
8	potěšující	potěšující	ADJ	Aspect=Imp|Case=Acc|Gender=Neut|Number=Sing|Polarity=Pos|Tense=Pres|VerbForm=Part|Voice=Act
9	.	.	PUNCT	_

Jazykové instrukce pro Universal Dependencies

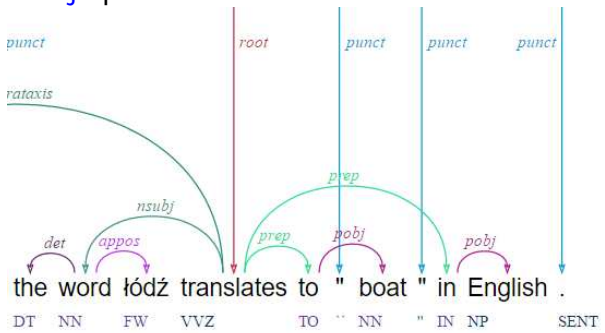
- každý jazyk má uvedené instrukce pro:
  - tokenizaci (hranice slov)
  - morfologické značky
  - syntax – základní a rozšířené závislosti
- např. pro češtinu – `www.universaldependencies.org/cs/`
- cíl instrukcí – sjednocení anotací napříč jazyky
- obsahuje i instrukce netypické pro daný jazyk – např. v češtině značkování některých zájmen jako determiner
  nebo expandování slov – kdybych = když + bych

Využití Universal Dependencies

- srovnání lingvistických fenomenů napříč jazyky
- testování syntaktické analýzy na různých jazycích
- vícejazyčná syntaktická analýza – paralelní dokumenty
- snadné porozumění rozdílům v anotacích

UD poskytuje univerzální nástroje pro:

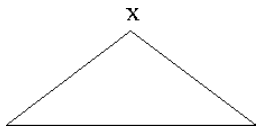
- anotace (editor, statistiky, validace)
- vizualizace
- dotazování
- UDPipe – trénování a automatické anotace



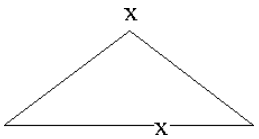
Stromové gramatiky TAG a LTAG

- Tree Adjoining Grammar – Joshi, Levy a Takahashi: *TAG Formalism*, 1975
  Lexicalized TAG – Joshi a Schabes: *Parsing with Lexicalized TAG*, 1991
- pracují přímo se stromy a ne s řetězci slov
- množina počátečních stromů – základní stavební prvky
- složitější věty odvozovány s použitím pomocných stromů

počáteční (*initial*) strom:

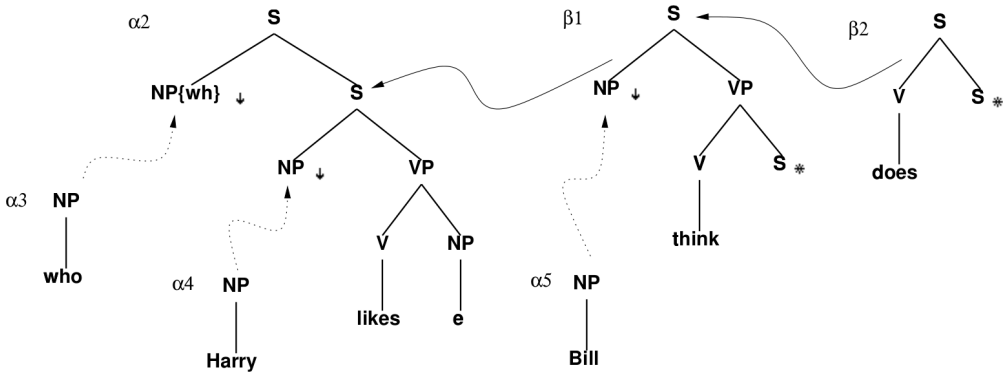


pomocný (*auxiliary*) strom:

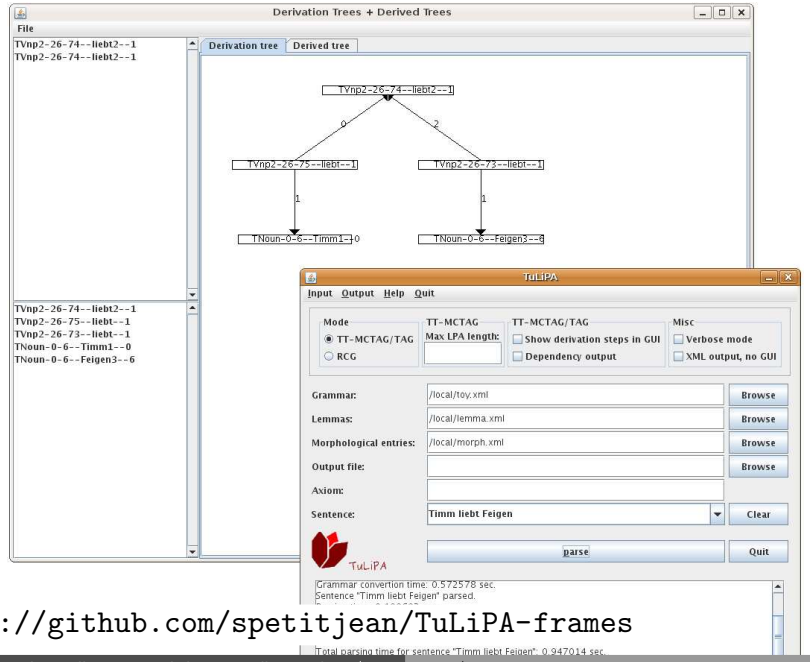


XTAG Project

The XTAG Project – `http://www.cis.upenn.edu/~xtag/`



TuLiPA-frames



`https://github.com/spetitjean/TuLiPA-frames`

TAG – počáteční a pomocné stromy

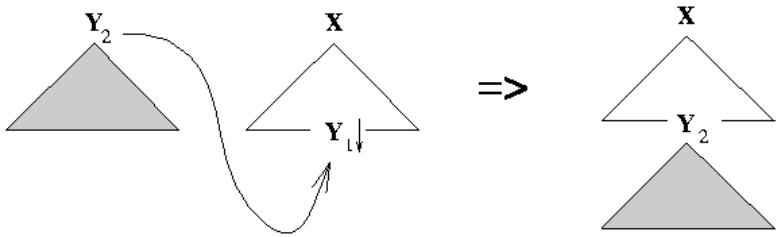
- počáteční stromy – neobsahují rekurzi → popisují složkovou strukturu jednoduchých vět, jmenných skupin, předložkových skupin, ...
  1. všechny nelistové uzly odpovídají *neterminálům*
  2. všechny listové uzly odpovídají *terminálům* nebo *neterminálním* uzlům určeným k *substituci*

  počáteční strom typu X = jeho kořen je označen termem X
- pomocné stromy – reprezentují *rekurzivní struktury*
  popisují větné členy, které se připojují k základním strukturám (např. příslovečné určení)
- charakterizace:
  1. všechny nelistové uzly odpovídají *neterminálům*
  2. všechny listové uzly odpovídají *terminálům* nebo *neterminálním* uzlům určeným k *substituci* kromě právě jednoho neterminálního uzlu (patový uzel, *foot node*)
  3. patový uzel má stejné označení jako kořenový uzel

  patový uzel – slouží k připojení stromu k jinému uzlu

TAG – operace

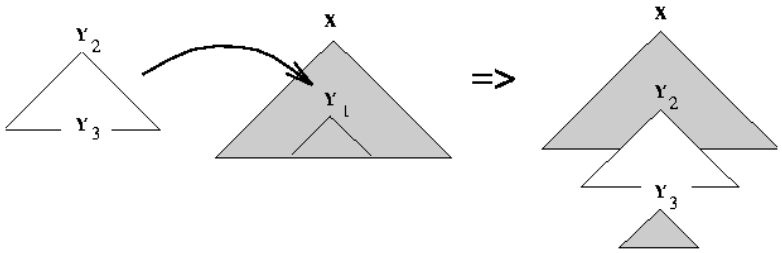
dvě operace – substituce a připojení (*adjunction*)
operace substituce – nahrazuje označený neterminál v listech nějakého stromu stromem, jehož kořen nese stejné označení



$Y_1\downarrow$ – označený pro substituci

TAG – operace připojení

operace připojení – vložení pomocného stromu, popisujícího rekurzi neterminálu X, se stromem, který obsahuje uzel označený rovněž X



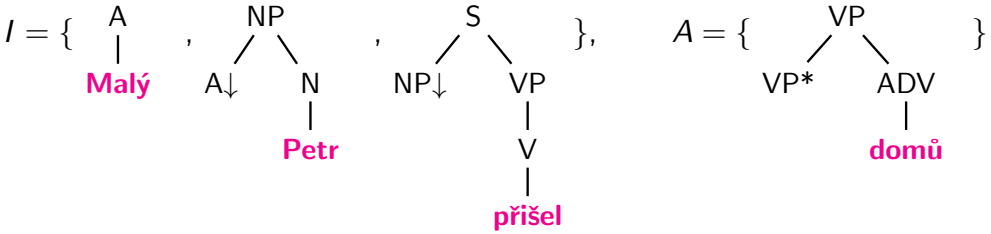
Definice TAG

- TAG $G = (I, A, S)$ je:
  - množina I konečných počátečních stromů
  - množina A pomocných stromů
  - typ stromu S – neterminál označující větu
- množina stromů $\mathcal{T}(G)$ TA gramatiky G = množina všech stromů odvoditelných z počátečních stromů typu S z I, jejichž spodní okraj sestává čistě z terminálních uzlů (všechny substituční uzly byly doplněny)
- jazyk řetězců $\mathcal{L}(G)$ generovaných TA gramatikou G = množina všech terminálních řetězců na spodním okraji stromů v $\mathcal{T}(G)$.

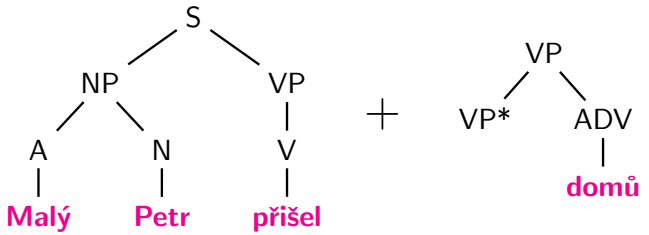
LTAG – lexikalizace

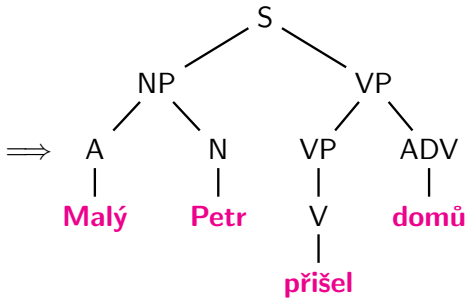
LTAG je lexikalizovanou variantou formalismu TAG
→ počáteční i pomocné stromy obsahují v listech jednu nebo více tzv. lexikálních kotev – uzly, které jsou přiřazeny (ukotveny) k určitým slovům lexikonu

lexikalizované stromy (*substituční uzly* – ↓, *patové uzly* – *):



LTAG – lexikalizované připojení



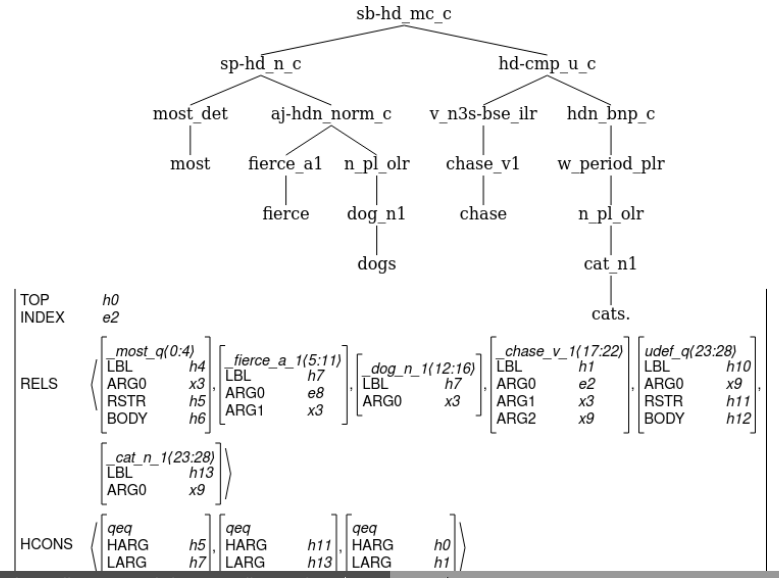


TAG a LTAG – generované jazyky

- díky použití operace připojení mají TAG a LTAG větší generativní sílu než bezkontextové gramatiky (CFG $\subset$ MCSL) $\rightarrow$ generují mírně kontextové jazyky (*mildly context-sensitive languages*)
  MCSL:
  - vlastnost konstantního růstu – pokud uspořádáme řetězce jazyka vzestupně podle délky, potom rozdíl dvou po sobě jdoucích délek nemůže být libovolný (každá délka je lineární kombinací konečného počtu pevných délek).
  - analyzovatelnost v polynomiálním čase $O(n^6)$ vzhledem k délce vstupu
- i jiné formalismy umí MCSL (jsou ekvivalentní s (L)TAG):
  - LIG, *Linear Indexed Grammars* – Gazdar, 1985
  - HG, *Head Grammars* – Pollard, 1984
  - CCG, kombinatorické kategoriální gramatiky

HPSG – Head-driven Phrase Structure Grammar

English Resource Grammar `https://github.com/delph-in/erg`
DELPH-IN demo `http://delph-in.github.io/delphin-viz/demo/`



HPSG – Head-driven Phrase Structure Grammar

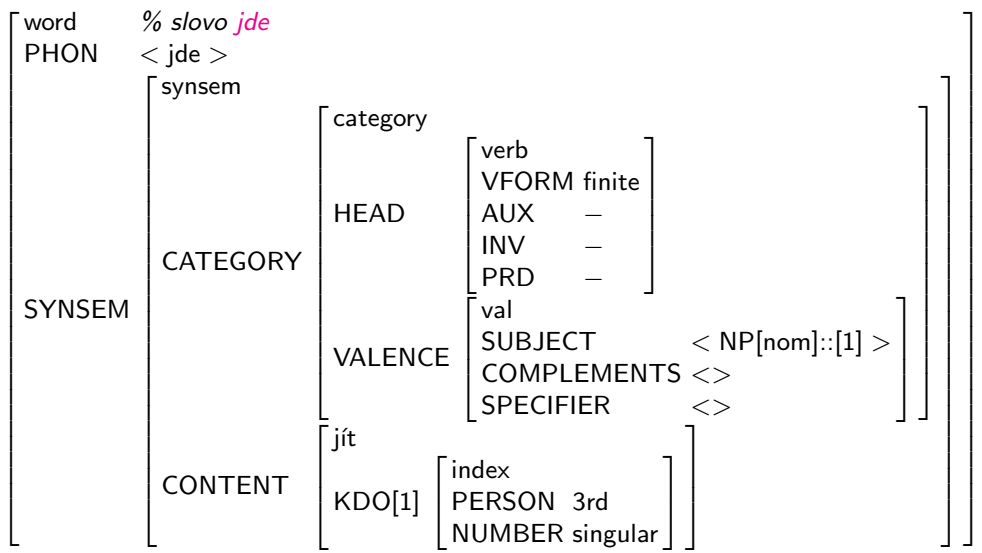
- HPSG, Head-driven Phrase Structure Grammar – Pollard & Sag, 1994
- navazuje na Gazdar, Generalized Phrase Structure Grammar, 1985
- lexikalizovaná teorie generativní gramatiky přirozeného jazyka
- *neterminály* CFG jsou nahrazeny příznakovými strukturami
- založená na omezeních (constraints)
- modeluje jazyk pomocí deklarativních omezení typovaných struktur. Pro vyhodnocení omezení se používá unifikace mezi příznakovými strukturami.
- příznaky jsou propojeny pomocí strukturního sdílení, tedy předáváním proměnných mezi podstrukturami dané struktury
- HPSG je nederivační, na rozdíl od jiných formalismů, kde jsou různé úrovně syntaktické struktury sekvenčně odvozovány pomocí transformačních operací

HPSG – Head-driven Phrase Structure Grammar – pokrač.

- gramatika je v HPSG modelována pomocí uspořádaných příznakových struktur, které korespondují s typy výrazů přirozeného jazyka a jejich částmi
- cílem teorie je detailní specifikace, které příznakové struktury jsou přípustné
- příznakové struktury definují omezení
  hodnoty příznaků mohou být jednoho ze čtyř typů
  - atomy
  - příznakové struktury
  - množiny příznakových struktur ($\{\ldots\}$)
  - nebo seznamy příznakových struktur ($<\ldots>$)

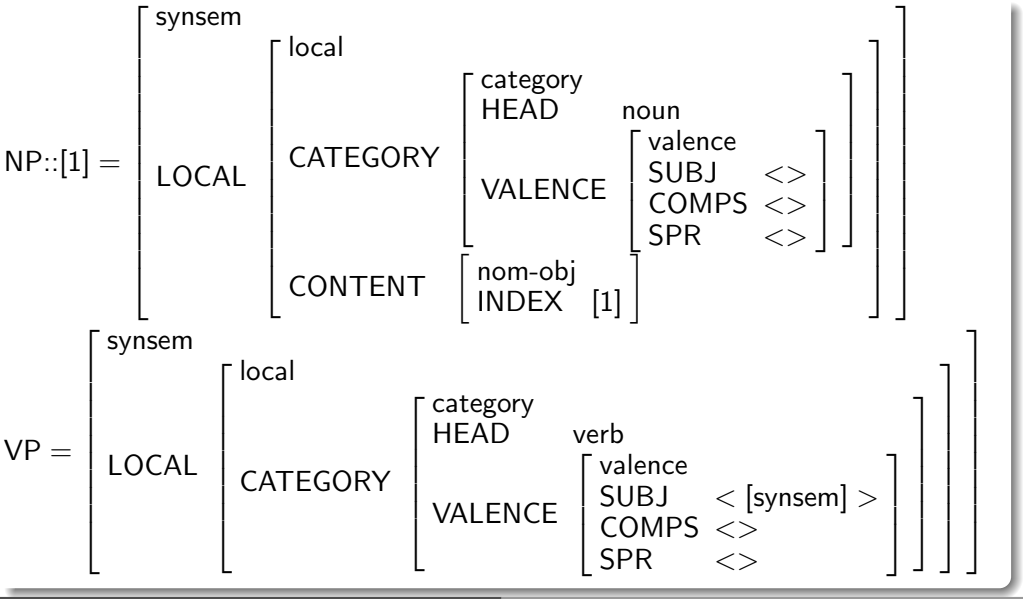
HPSG struktury

HPSG struktury jsou typované příznakové struktury
zapisují se pomocí AVM – příznaky velkými písmeny, typy malými



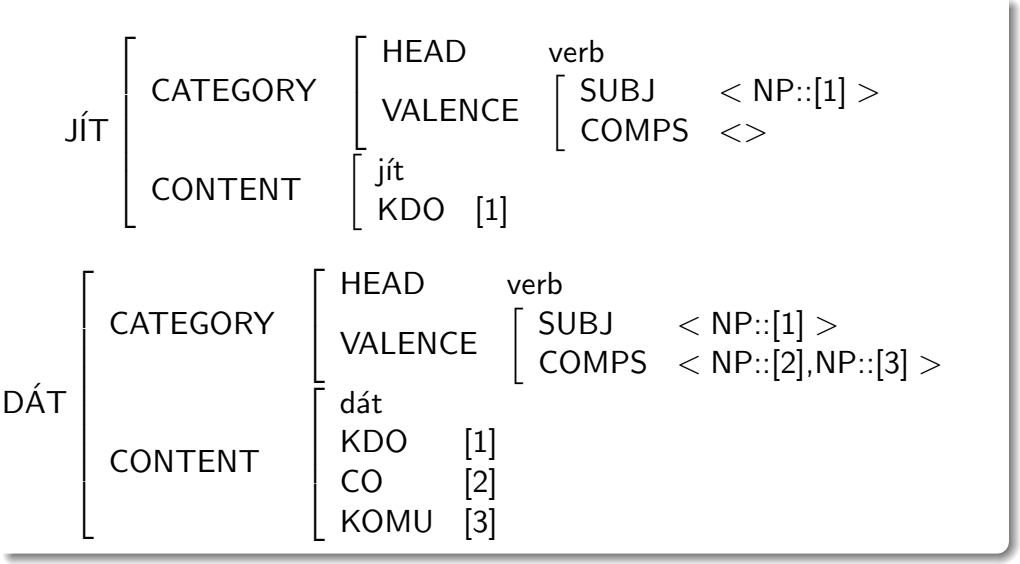
Syntaktické kategorie

symboly syntaktických kategorií – zkratky určitých příznakových popisů:



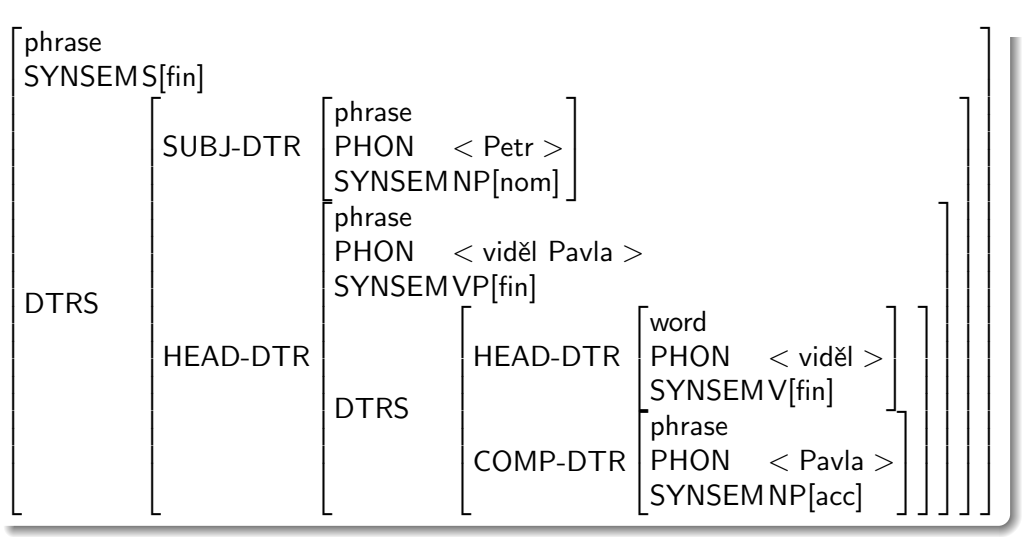
Lexikální položky

velké množství akcí je v lexikonu:



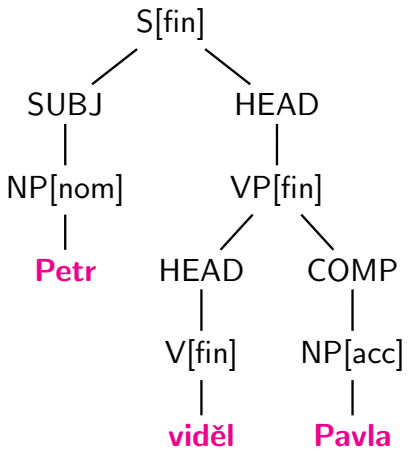
Fráze

reprezentace frází – v HPSG obdoba reprezentace slov
navíc příznak DAUGHTERS – struktura členů fráze



Fráze – pokrač.

pro snazší čtení popisů frází používáme stromový zápis:



ve skutečnosti se ovšem jedná o příznakovou strukturu, ne strom!

Dobře utvořené příznakové struktury

dobře utvořené příznakové struktury musí splňovat omezení daná gramatikou

příznaková struktura je dobře utvořená ⇔:

- každý uzel splňuje omezení geometrie příznaku
- každá uzel vstupního slova splňuje omezení některé lexikální položky
- každý frázový uzel splňuje frázová omezení – *omezení přímé dominance* (immediate dominance, viz dále), *omezení hlavových příznaků* (head feature), *valenční omezení*, ...

omezení geometrie příznaku specifikují:

- s jakými typy se pracuje
- jaká je použitá typová hierarchie – který typ je podtypem jiného typu
- pro každý typ – jaké příznaky přísluší tomuto typu
- pro každý typ a každý příznak – jakých typů mohou být hodnoty tohoto příznaku

HPSG – deklarace typu

pro popis omezení geometrie příznaku se používají typové deklarace:

```
category: [HEAD: head, VALENCE: valence]

head     # příznaková struktura složená z příznakových struktur
   noun: [CASE: case]
   verb: [VFORM: vform, AUX: boolean, INV: boolean]
   prep: [PFORM: pform]
   ...

vform    # jednoduchý příznak, forma slovesa – možné hodnoty:
   fin     # určitý tvar slovesa
   inf     # neurčitý tvar slovesa – infinitive
   ...

case     # jednoduchý příznak, gramatický pád
   nom     # 1. pád, nominativ
   acc     # 4. pád, akuzativ
   ...
```


HPSG – dobře utvořená slova a fráze

- každé vstupní slovo musí splňovat některou lexikální položku
- fráze musí splňovat frázová omezení (constraints):
  - omezení přímé dominance – každá fráze musí odpovídat jednomu ze schémat – schéma *head-subject*, schéma *head-specifier*, schéma *head-complement*, ...

```
   [SUBJ <>]          [SPR <>]          [COMPS <>]
      /\                 /\                 /\
  SUBJ/  \HEAD       SPR/  \HEAD       HEAD/  \COMPS
    /      \           /      \           /      \
phrase    phrase    phrase    phrase    word    list of phrases
          [COMPS <>, SPR <>]           [COMPS <>]
```

  - omezení hlavových příznaků – pro každou frázi, která má hlavu, musí být hlavové příznaky fráze shodné s hlavovými příznaky potomka, který je hlavou
  - valenční omezení – pro každý z valenčních příznaků (SUBJECT, COMPLEMENTS, ...) – hodnota příznaku na hlavové frázi musí odpovídat hodnotě na potomku, který je hlavou, minus ty příznaky, které jsou splněny některým z nehlavových potomků

Dobře utvořené příznakové struktury

omezení ve větě ‘Petr viděl Pavla.’: