

Gramatické formalismy pro ZPJ

Aleš Horák

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

Obsah:

- ▶ Gramatické formalismy
- ▶ Kategoriální gramatiky
- ▶ Závislostní gramatiky
- ▶ Stromové gramatiky TAG a LTAG
- ▶ Lexikální funkční gramatiky LFG

Gramatické formalismy

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

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
- ▶ všechny verze CG se opírají o **princip kompozicionality**:
Význam složeného výrazu je jednoznačně určen významy částí tohoto výrazu a způsobem, jakým jsou tyto části složeny dohromady.
- ▶ **zakladatelé** generativních gramatik – Leśniewski (publ. 1929) a Ajdukiewicz (publ. 1935) ve vazbě na Husserlova a Russellova teorii kategorií a teorii typů
- ▶ první použití kategoriálních gramatik pro **popis přirozeného jazyka** – Jehošua Bar-Hillel, 1953

Notace kategoriálních gramatik

- ▶ existuje několik různých variant notace

$$\begin{array}{c}
 \underline{\text{šikovní}} \quad \underline{\text{psi}} \quad \underline{\text{mají rádi}} \quad \underline{\text{kočky}} \\
 \underline{NP/N} \quad \underline{N} > \quad \underline{(S \setminus NP)/NP} \quad \underline{NP} > \\
 \underline{NP} & \underline{S \setminus NP} < \\
 S
 \end{array}$$

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

$$\begin{array}{c}
 \underline{\text{šikovní}} \quad \underline{\text{psi}} \quad \underline{\text{mají rádi}} \quad \underline{\text{kočky}} \\
 \underline{NP/N} \quad \underline{N} > \quad \underline{(NP \setminus S)/NP} \quad \underline{NP} > \\
 \underline{NP} & \underline{NP \setminus S} < \\
 S
 \end{array}$$

Notace kategoriálních gramatik – pokrač.

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

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

Rozšíření kategoriálních gramatik

- ▶ klíčový problém – nespojitě 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 nejpracovanějším 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/>

Notace kategoriálních gramatik – pokrač.

- ▶ daná schémata umožňují 2 způsoby kombinace:
 - argument **vpravo** (/) – $\alpha_{(X/Y)} \circ \beta_{(Y)} \rightarrow \alpha\beta_{(X)}$
 - argument **vlevo** (\) – $\beta_{(Y)} \circ \alpha_{(X \setminus Y)} \rightarrow \beta\alpha_{(X)}$
- ▶ tento typ kategoriální gramatiky označoval Bar-Hillel jako **obousměrný** (bidirectional CG)
- ▶ Karel miluje Marii:
 - **bázové kategorie** = $\{NP, S\}$
 - **kategorie z lexikonu**: $Karel_{(NP)}, Marii_{(NP)}, miluje_{((S \setminus NP)/NP)}$
 - $C_{complete} = \{S\}$
- ▶ 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

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

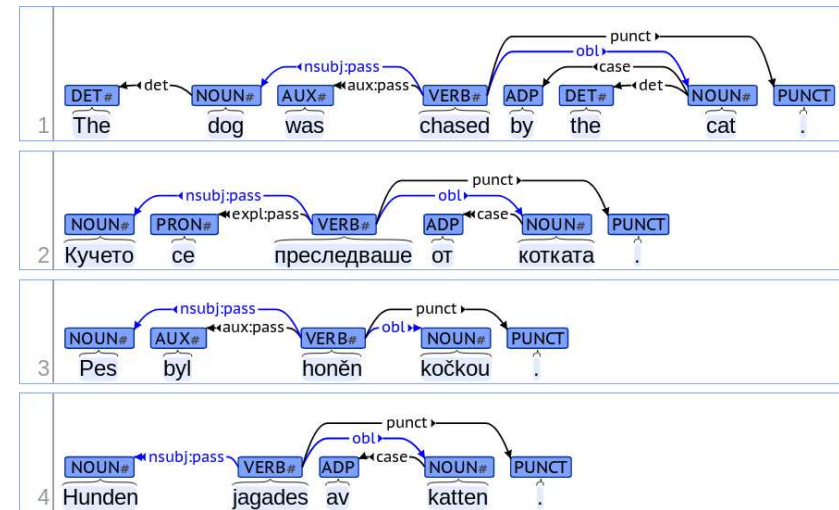
Závislostní gramatiky – pokrač.

hlavní přístupy:

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

Universal Dependencies

- ▶ www.universaldependencies.org, UD
- ▶ sjednocení **závislostní anotace** pro různé jazyky
- ▶ více než **100 stromových bank** (*treebanks*) ve více než 70 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	Správkyňě	Správkyňě	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

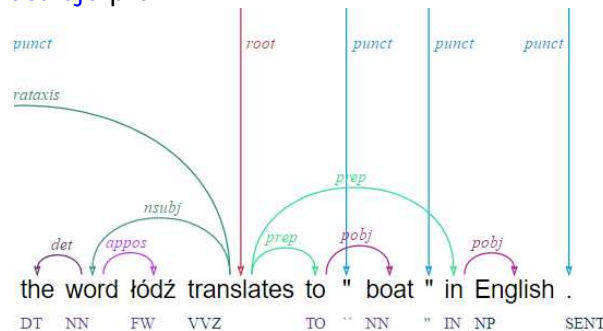
- ▶ každý jazyk má uvedené **instrukce** pro:
 - tokenizaci (hranice slov)
 - morfologické značky
 - syntax – základní a rozšířené závislosti
- ▶ např. pro **češtinu** – www.universaldependencies.org/cs/
- ▶ **cíl instrukcí** – **sjednocení** anotací napříč jazyky
- ▶ obsahuje i instrukce **netypické** 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:

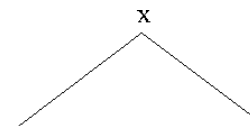
- ▶ **anotace** (editor, statistiky, validace)
- ▶ **vizualizace**
- ▶ **dotazování**
- ▶ **UDPipe** – trénování a automatické anotace



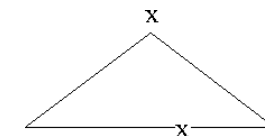
Stromové gramatiky TAG a LTAG

- ▶ 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:



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. příslovecné 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*)

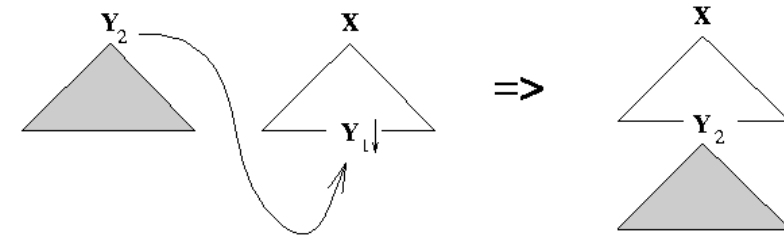
3. **patový uzel** má stejné označení jako kořenový uzel

patový uzel – slouží k připojení stromu k jinému uzlu

TAG – operace

dvě operace – **substituce** a **připojení** (*adjunction*)

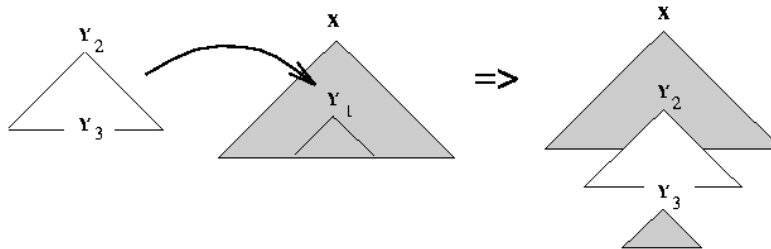
operace **substituce** – nahrazuje označený neterminál v listech nějakého stromu stromem, jehož kořen nese stejné označení



$Y_1 \downarrow$ – 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 $\mathcal{T}(G)$.

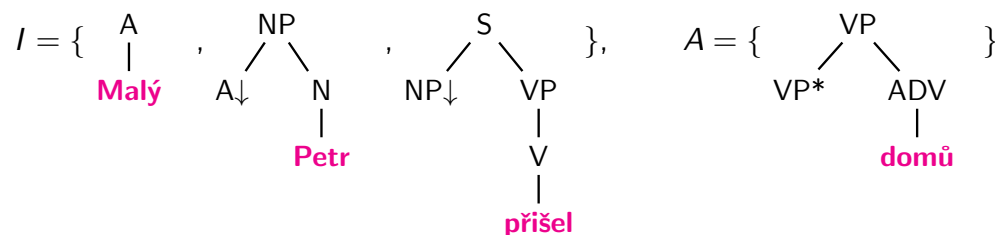
LTAG – lexikalizace

LTAG je **lexikalizovanou variantou** formalismu TAG

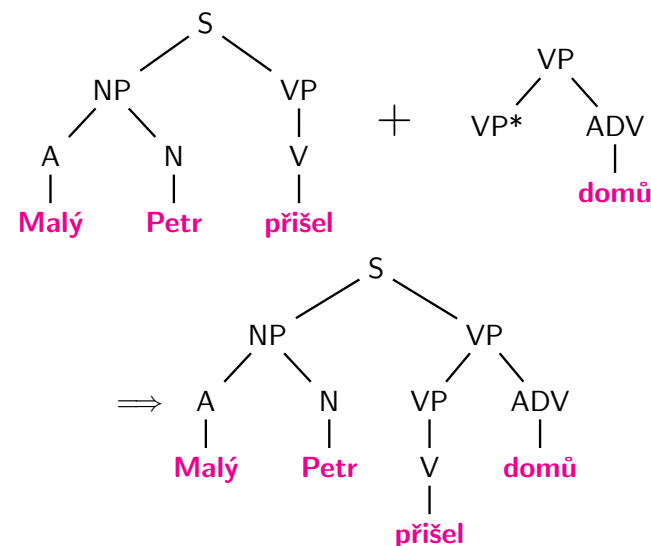
→ počáteční i pomocné stromy obsahují v listech jednu nebo více tzv.

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 ($CFG \subset MCSL$) → 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

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

Lexikální funkční gramatiky LFG

- ▶ LFG, *Lexical Functional Grammar* – Kaplan a Bresnan, 1982
- ▶ dva typy syntaktických struktur
 - **vnější, c-struktura** – viditelná hierarchická organizace slov do frází
 - **vnitřní, f-struktura** – abstraktnější struktura gramatických funkcí, které tvoří hierarchii komplexních funkčních struktur

důvod:

- různé přirozené jazyky se významným způsobem odlišují v **organizaci fráze**, v pořadí a způsobech realizace gramatických funkcí
- abstraktnější, **funkcionální** organizace jazyků se odlišuje mnohem méně v mnoha jazycích se např. objevují gramatické funkce *podmětu*, *předmětu* atd.

Lexikální funkční gramatiky LFG – pokrač.

- ▶ **L** = vztahy mezi jazykovými formami, např. mezi aktivními a pasivními formami slovesa, jsou zobecněním struktury **lexikonu**, ne transformačními operacemi, derivujícími jednu formu z druhé
- ▶ **F** = **funkcionální teorie** – gramatické vztahy, jako je podmět, předmět atd., jsou základními konstrukty, a nejsou definovány pomocí konfigurace frázové struktury, nebo sémantických pojmů typu Agent a Patient
- ▶ v **LFG** – pro reprezentaci **funkcionální syntaktické informace** je vhodné definovat hierarchickou strukturu jazykových jednotek, avšak *vynucená linearizace* pořádku těchto struktur *není vhodná*

Syntaktické úrovně LFG

- ▶ dvě syntaktické úrovně:
 - **složková struktura** (*c-structure*, *constituent structure*) – zachycuje frázovou dominanci a prioritu a je reprezentována jako **strom** frázové struktury (CFG strom)
 - **funkcionální struktura** (*f-structure*) – zachycuje syntaktickou strukturu typu predikát-argumenty a je reprezentována *maticí dvojic atribut-hodnota*
nabízí jednotnou reprezentaci syntaktické informace abstrahující od detailů struktury fráze a lineárního pořádku
- f-struktura obsahuje soubor atributů:
 - **příznaky** – čas, rod, číslo, ...
 - **funkce** – PRED, SUBJ, OBJ, jejichž hodnoty mohou být jiné f-struktury
- ▶ vztah mezi c-strukturami (stromy) a odpovídajícími f-strukturami:

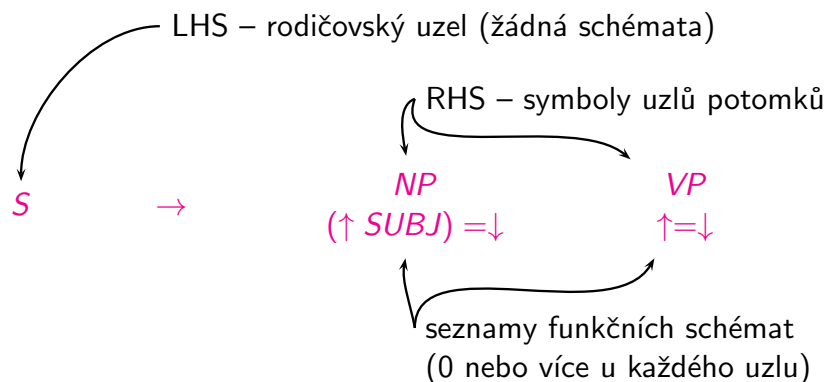
projekce $\phi : \{\text{uzly stromu c-struktury}\} \rightarrow \{\text{f-struktury}\}$

vyjádřená **funkčními schémata**

LFG – c-struktura

LFG pravidla:

- ▶ klasická CF pravidla
- ▶ plus **funkční schémata** – výrazy pracující se symboly na pravé straně pravidel (za \rightarrow , RHS)



LFG – pravidla

příklady:

$S \rightarrow NP \quad VP$
 $(\uparrow \text{SUBJ}) = \downarrow \quad \uparrow = \downarrow$

$VP \rightarrow V \quad (NP)$
 $\uparrow = \downarrow \quad (\uparrow \text{OBJ}) = \downarrow$

$NP \rightarrow (DET) \quad N$
 $\uparrow = \downarrow \quad \uparrow = \downarrow$

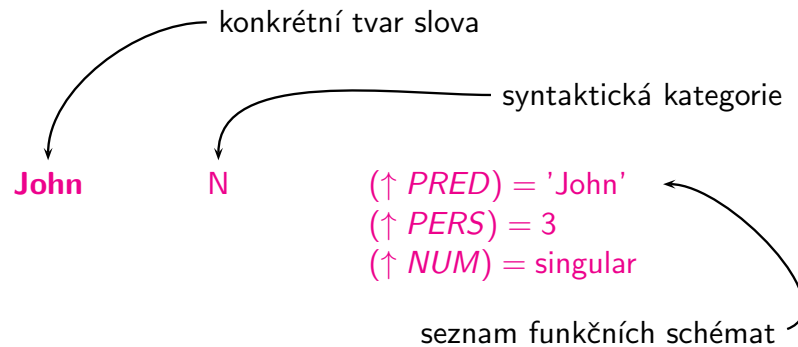
výrazy $(\uparrow \text{SUBJ}) = \downarrow$, $\uparrow = \downarrow$ a $(\uparrow \text{OBJ}) = \downarrow$ jsou **funkční schémata**

LFG – lexikon

lexikon také obsahuje funkční schémata

položka lexikonu:

1. konkrétní tvar slova
2. syntaktickou kategorii
3. seznam funkčních schémat



LFG – lexikon – pokrač.

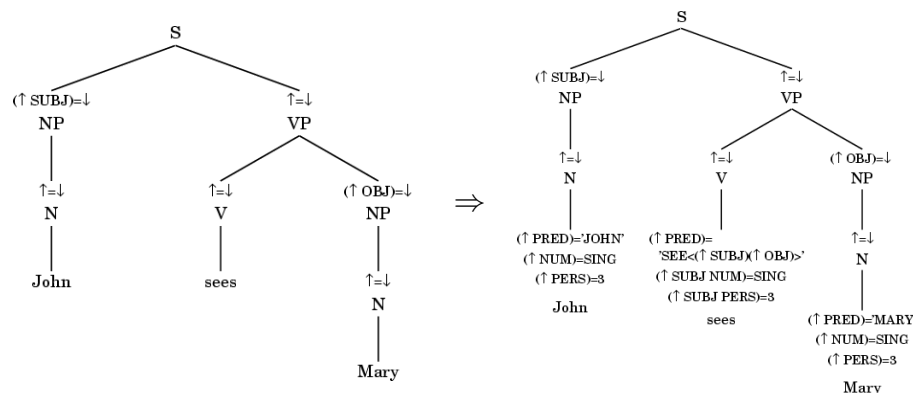
příklady:

John	N	(↑ PRED)	=	'JOHN'
		(↑ NUM)	=	SING
		(↑ PERS)	=	3
sees	V	(↑ PRED)	=	'SEE<(↑SUBJ)(↑OBJ)>'
		(↑ SUBJ NUM)	=	SING
		(↑ SUBJ PERS)	=	3
Mary	N	(↑ PRED)	=	'MARY'
		(↑ NUM)	=	SING
		(↑ PERS)	=	3

LFG – konstrukce c-struktury

informace v c-struktuře:

- ▶ hierarchická struktura větných členů
- ▶ funkční anotace (funkční schémata převedená do stromu) – po jejich interpretaci získáme výslednou f-strukturu



LFG – f-struktura

$$f_n \begin{bmatrix} A & f_m \begin{bmatrix} B & C \\ D & E \end{bmatrix} \\ F & G \\ H & I \end{bmatrix}$$

grafický zápis:

matice atribut-hodnota (*attribute-value matrix*, AVM) – levé sloupce jsou atributy, pravé sloupce hodnoty (symboly, podřazené f-struktury nebo sémantické formy)

funkční rovnice a f-struktury:

$$(f_p \text{ ATT}) = \text{VAL}$$

v f-struktuře f_p je řádek, kde

atribut je ATT

a jeho hodnota je VAL

funkční rovnice mohou být splněny nebo nesplněny (*true/false*)

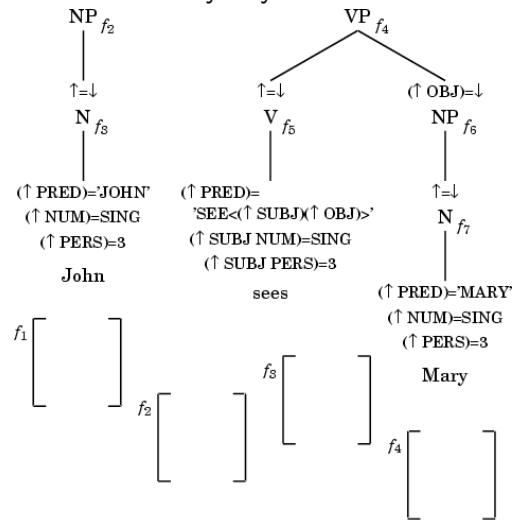
LFG – instanciacie hodnot

Instanciacie hodnot

1. doplňuje hodnoty metaproměnných \uparrow a \downarrow
2. transformuje schémata na **funkční rovnice** – výrazy získané z f-struktur

grafický zápis – f-struktura
v hranatých závorkách []

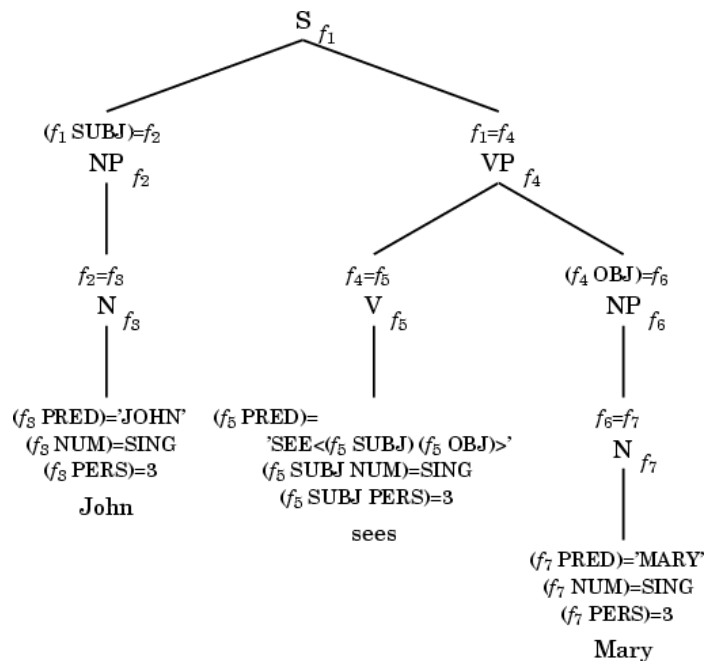
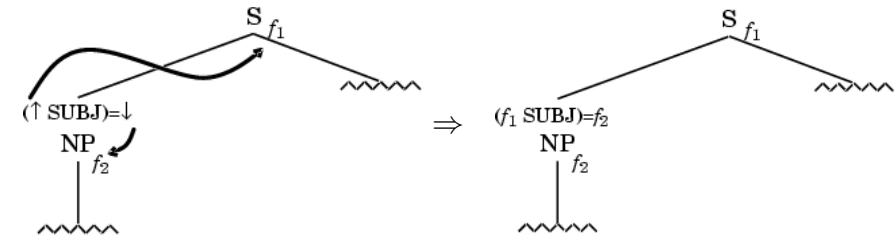
každý uzel c-struktury má
k sobě připojenou matici
f-struktury, které se označují
indexy f_i



LFG – doplnění hodnot metaproměnných

\uparrow a \downarrow (metaproměnné) se odkazují na f-struktury
je potřeba najít správné proměnné f_i na místa šipek

- ▶ \downarrow – metaproměnná **EGO** nebo **SELF** – odkazuje na f-strukturu uzlu nad schématem
- ▶ \uparrow – metaproměnná **MOTHER** – odkazuje na f-strukturu rodičovského uzlu vzhledem k uzlu nad schématem



LFG – funkční popis

funkční popis = množina všech instanciováných funkčních rovnic stromu
vlastní konstrukce f-struktury pracuje pouze s tímto funkčním popisem
funkční popis předchází větě:

- | | |
|---|---|
| a. $(f_1 \text{ SUBJ}) = f_2$ | i. $(f_5 \text{ SUBJ NUM}) = \text{SING}$ |
| b. $f_3 = f_2$ | j. $(f_5 \text{ SUBJ PERS}) = f_3$ |
| c. $(f_3 \text{ PRED}) = \text{'JOHN'}$ | k. $(f_4 \text{ OBJ}) = f_6$ |
| d. $(f_3 \text{ NUM}) = \text{SING}$ | l. $f_6 = f_7$ |
| e. $(f_3 \text{ PERS}) = f_3$ | m. $(f_7 \text{ PRED}) = \text{'MARY'}$ |
| f. $f_1 = f_4$ | n. $(f_7 \text{ NUM}) = \text{SING}$ |
| g. $f_4 = f_5$ | o. $(f_7 \text{ PERS}) = f_3$ |
| h. $(f_5 \text{ PRED}) = \text{'SEE}<(f_5 \text{ SUBJ})(f_5 \text{ OBJ})>'$ | |

LFG – konstrukce f-struktury

f-struktura se tvoří z **funkčního popisu** tak, aby všechny funkční rovnice byly **splněny**

výsledná f-struktura musí být **minimální** taková f-struktura

$$\begin{array}{c}
 f_1 \\
 f_4 \\
 f_5
 \end{array}
 \left[\begin{array}{l}
 \text{PRED 'SEE}<(f_5 \text{ SUBJ}) (f_5 \text{ OBJ})>' \\
 \text{SUBJ} \left[\begin{array}{l}
 \text{NUM SING} \\
 \text{PERS s}
 \end{array} \right]
 \end{array} \right]
 \Rightarrow
 \begin{array}{c}
 f_1 \\
 f_4 \\
 f_5
 \end{array}
 \left[\begin{array}{l}
 \text{PRED 'SEE}<(f_5 \text{ SUBJ}) (f_5 \text{ OBJ})>' \\
 \text{SUBJ} \left[\begin{array}{l}
 f_2 \left[\begin{array}{l}
 \text{PRED 'JOHN'} \\
 \text{NUM SING} \\
 \text{PERS s}
 \end{array} \right] \\
 f_3 \left[\begin{array}{l}
 \text{PRED 'MARY'} \\
 \text{NUM SING} \\
 \text{PERS s}
 \end{array} \right]
 \end{array} \right]
 \end{array} \right]$$

XLE web interface – <http://pargram.b.uib.no/tools/>,
<http://xlfg.labri.fr>