Syntaxe – gramatiky a syntaktické struktury

Aleš Horák

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

Obsah:

- Aktualita - ChatGPT-4
- Syntaxe, syntaktická analýza
- Specifikace gramatik
- Chomského teorie syntaxe
- Východiska syntaktické analýzy

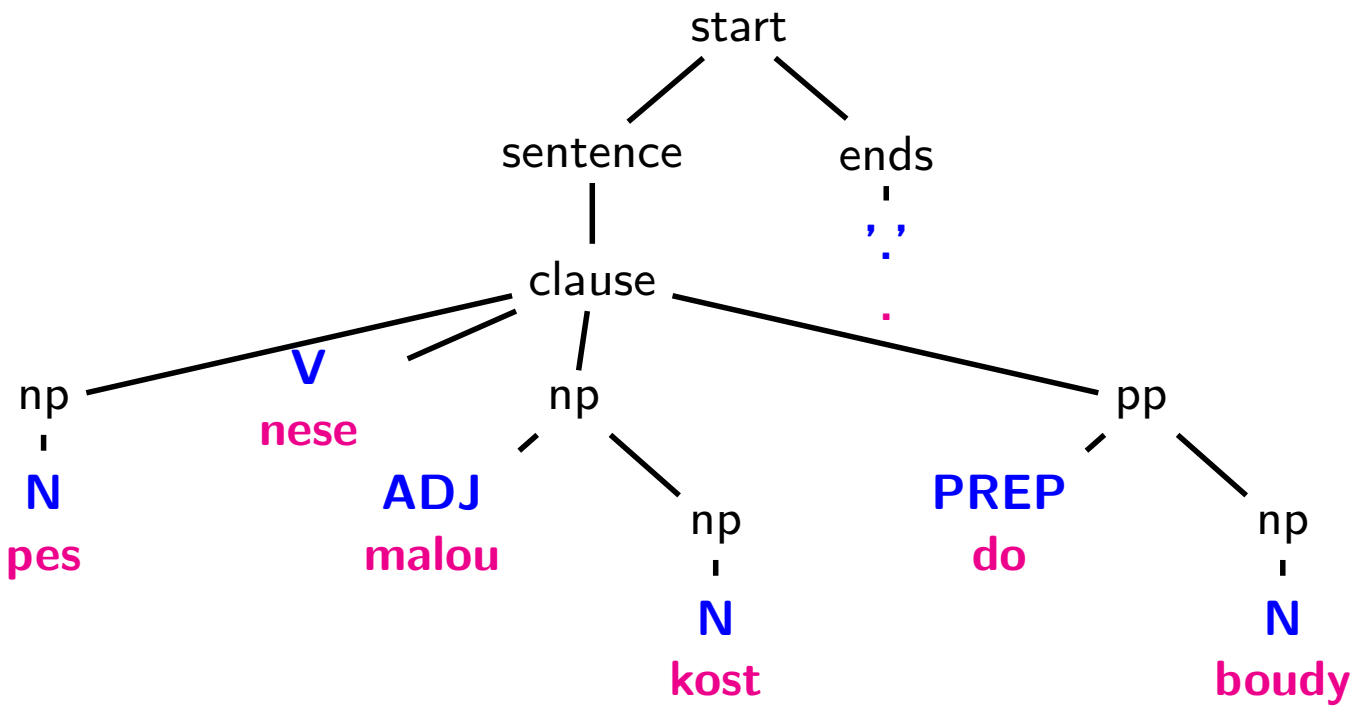
Aktualita - ChatGPT-4

https://openai.com/product/gpt-4

- OpenAI oznámila 14.3.2023
  vydání nové verze modelu ChatGPT-4
- nástupce aktuálního
  ChatGPT-3.5, zatím není veřejně dostupný
  aktuální plán – pouze placený přístup
- není zveřejněný počet
  trénovaných parametrů (GPT-3 175 miliard)
- novinky:
  - textový i obrazový vstup
  - delší kontext až 25 tisíc slov (cca 52 stran textu)
  - úspěšnější v řešení úloh ze soutěží (10 vs 90 percentil)
  - stále halucinuje, ale v 80 % odpovídá správně
  - bezpečnější opovědi
  - využití v Khan Academy, Duolingo, Be My Eyes, ...

Syntaxe, syntaktická analýza

- syntaxe – charakterizace dobře utvořených kombinací slovních tvarů do věty nebo fráze
- pomocí gramatických pravidel
- výstup ze syntaktické analýzy (např. derivační strom) tvoří často vstup pro analýzu sémantickou



Základní termíny

- fráze (*phrase*) – jednotka jazyka větší než slovo, ale menší než věta
  např. *jmenná fráze*, *slovesná fráze*, *adjektivní fráze* nebo *příslovečná fráze*
- lexikální symbol, lexikální kategorie (*lexical category*) – tzv. preterminál
  speciální neterminál gramatiky, který se přímo přepisuje na terminálový řetězec znaků, tj. pravidla tvaru $X \to w$

$$
\begin{array}{lcl}
\mathrm{N} & \to & \mathrm{pes} \mid \mathrm{člověk} \mid \mathrm{dům} \ldots \\
\mathrm{V} & \to & \mathrm{nese} \mid \mathrm{chodit} \mid \mathrm{psal} \ldots \\
\mathrm{ADJ} & \to & \ldots \\
\mathrm{PREP} & \to & \ldots \\
\mathrm{ADV} & \to & \ldots
\end{array}
$$

  označuje všechny slova, která odpovídají určitému lexikálnímu symbolu (všechna podstatná jména, přídavná jména, . . .)

Základní termíny

- fráze (*phrase*) – jednotka jazyka větší než slovo, ale menší než věta
  např. *jmenná fráze*, *slovesná fráze*, *adjektivní fráze* nebo *příslovečná fráze*
- lexikální symbol, lexikální kategorie (*lexical category*) – tzv. preterminál
  speciální neterminál gramatiky, který se přímo přepisuje na terminálový řetězec znaků, tj. pravidla tvaru $X \to w$

N	$\to$	pes	$\mid$	člověk	$\mid$	dům ...
V	$\to$	nese	$\mid$	chodit	$\mid$	psal ...
ADJ	$\to$	...				
PREP	$\to$	...				
ADV	$\to$	...				

označuje všechny slova, která odpovídají určitému lexikálnímu symbolu (všechna podstatná jména, přídavná jména, ...)

Základní termíny – pokrač.

- frázová kategorie (*phrasal category*)
  neterminální symbol gramatiky, který nevyjadřuje lexikální kategorii

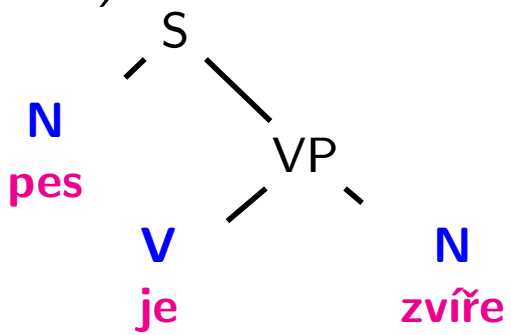
$$
\begin{array}{lcl}
\text{ADJP} & \rightarrow & \text{ADJP} \quad \text{ADJ} \\
\text{NP} & \rightarrow & \text{ADJP} \quad \text{N} \\
\text{VP} & \rightarrow & \text{V} \quad \text{NP} \\
\text{S} & \rightarrow & \text{NP} \quad \text{VP}
\end{array}
$$

- větný člen (*constituent*) – lexikální nebo frázová kategorie

Základní termíny – pokrač.

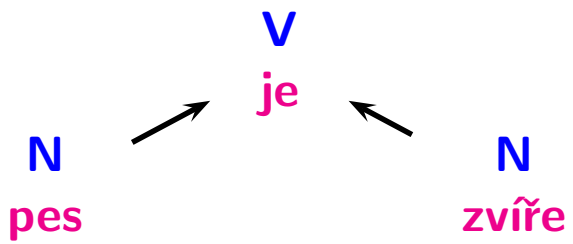
- větná struktura (*sentence structure*) – strukturovaný popis větných členů
  - povrchová struktura (*surface structure*)

    derivační/složkový strom jako výsledek bezkontextové (CF) analýzy



  - závislostní struktura (*dependency structure*)

    zobrazuje závislosti mezi větnými členy



  - hloubková struktura (*deep structure*) – sémantická interpretace fráze. Popisuje role větných členů (agens, patiens, donor, cause, . . .)

SliDo

Syntaktická analýza programovacích × přirozených jazyků

- počítačové programy a přirozené jazyky sdílí teorii formálních jazyků a praktický zájem o efektivní algoritmy analýzy
- ALGOL 60 – první programovací jazyk popsaný pomocí Backus-Naurovy formy (BNF)

```
<if_statement> ::= if <boolean_expression> then
                       <statement_sequence>
                   [ else
                       <statement_sequence> ]
                   end if ;
```

- dokázalo se, že BNF je ekvivalentní CFG (1962) → podnítilo výzkum formálních jazyků z hlediska jazyků přirozených

Syntaktická analýza programovacích × přirozených jazyků

- počítačové programy a přirozené jazyky sdílí teorii formálních jazyků a praktický zájem o efektivní algoritmy analýzy
- ALGOL 60 – první programovací jazyk popsaný pomocí Backus-Naurovy formy (BNF)

```
<if_statement> ::= if <boolean_expression> then
                       <statement_sequence>
                   [ else
                       <statement_sequence> ]
                   end if ;
```

- dokázalo se, že BNF je ekvivalentní CFG (1962) → podnítilo výzkum formálních jazyků z hlediska jazyků přirozených

Syntaktická analýza programovacích × přirozených jazyků

- počítačové programy a přirozené jazyky sdílí teorii formálních jazyků a praktický zájem o efektivní algoritmy analýzy
- ALGOL 60 – první programovací jazyk popsaný pomocí Backus-Naurovy formy (BNF)

```
<if_statement> ::= if <boolean_expression> then
                       <statement_sequence>
                   [ else
                       <statement_sequence> ]
                   end if ;
```

- dokázalo se, že BNF je ekvivalentní CFG (1962) → podnítilo výzkum formálních jazyků z hlediska jazyků přirozených

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 termů na levé straně (*kontext* neterminálu)

  A S B → A **a** B **c** B

  ekvivalentní síle lineárně ohraničeného Turingova stroje, 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

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 termů na levé straně (*kontext* neterminálu)

  A S B → A **a** B **c** B

  ekvivalentní síle lineárně ohraničeného Turingova stroje, 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

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 termů na levé straně (*kontext* neterminálu)

  A**S**B → A**a**B**c**B

  ekvivalentní síle lineárně ohraničeného Turingova stroje, 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

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 termů na levé straně (*kontext* neterminálu)

  A<u>S</u><u>B</u> → <u>A</u>**a**B**c**<u>B</u>

  ekvivalentní síle lineárně ohraničeného Turingova stroje, 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

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 termů na levé straně (*kontext* neterminálu)

  A<u>S</u><u>B</u> → <u>A</u>**a**B**c**<u>B</u>

  ekvivalentní síle lineárně ohraničeného Turingova stroje, 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

Gramatiky přirozeného jazyka

- konkrétní popis gramatiky přirozeného jazyka je velmi složitým úkolem
- kontrast s faktem, že rodilí mluvčí nemívají potíže s pochopením významu vět
- asi nejstarší formální popis jazyka – gramatika sanskrtu od indického učence Paniniho
  - vznikla cca 400 př.n.l.
  - dochovaná v rituálních védických textech
  - gramatika podobná BNF (Backus-Naurově formě)
  - používala bezkontextových i kontextových pravidel, obsahovala asi 1700 termů
  - zabývala se z větší části morfologií, nikoliv syntaxí, neboť pořádek slov je v sanskrtu dosti volný
  - toto dílo bylo evropské škole obecné lingvistiky, která má kořeny v řecké a římské tradici, neznámé až do 19. století

Gramatiky přirozeného jazyka

- konkrétní popis gramatiky přirozeného jazyka je velmi složitým úkolem
- kontrast s faktem, že rodilí mluvčí nemívají potíže s pochopením významu vět
- asi nejstarší formální popis jazyka – gramatika sanskrtu od indického učence Paniniho

- vznikla cca 400 př.n.l.
- dochovaná v rituálních védických textech
- gramatika podobná BNF (Backus-Naurově formě)
- používala bezkontextových i kontextových pravidel, obsahovala asi 1700 termů
- zabývala se z větší části morfologií, nikoliv syntaxí, neboť pořádek slov je v sanskrtu dosti volný
- toto dílo bylo evropské škole obecné lingvistiky, která má kořeny v řecké a římské tradici, neznámé až do 19. století

Obsah

1. Aktualita - ChatGPT-4
2. Syntaxe, syntaktická analýza
   - Základní termíny
   - Analýza programovacích a přirozených jazyků
   - Gramatiky přirozeného jazyka
3. Specifikace gramatik
   - Složkový a závislostní přístup
   - Uzly syntaktického stromu
   - Pořádek slov ve větě
   - Možnosti zadávání gramatik
4. Chomského teorie syntaxe
   - Standardní teorie syntaxe
5. Východiska syntaktické analýzy
   - Návrh podkladů a datových struktur
   - Grammatical Framework

Složkový a závislostní přístup

dva základní způsoby zadávání gramatik

složkový přístup:

- skupiny slov tvoří větné jednotky, které jsou označovány jako fráze, a jako větné členy (*složky*, *constituents*) formují větu
- např.

  podstatné jméno – součást jmenné fráze (noun phrase – NP)
  jmenná fráze spolu s předložkou – tvoří předložkovou frázi (prepositional phrase – PP)

- syntaktická struktura věty je zachycována jako složkový strom

Složkový a závislostní přístup

dva základní způsoby zadávání gramatik

složkový přístup:

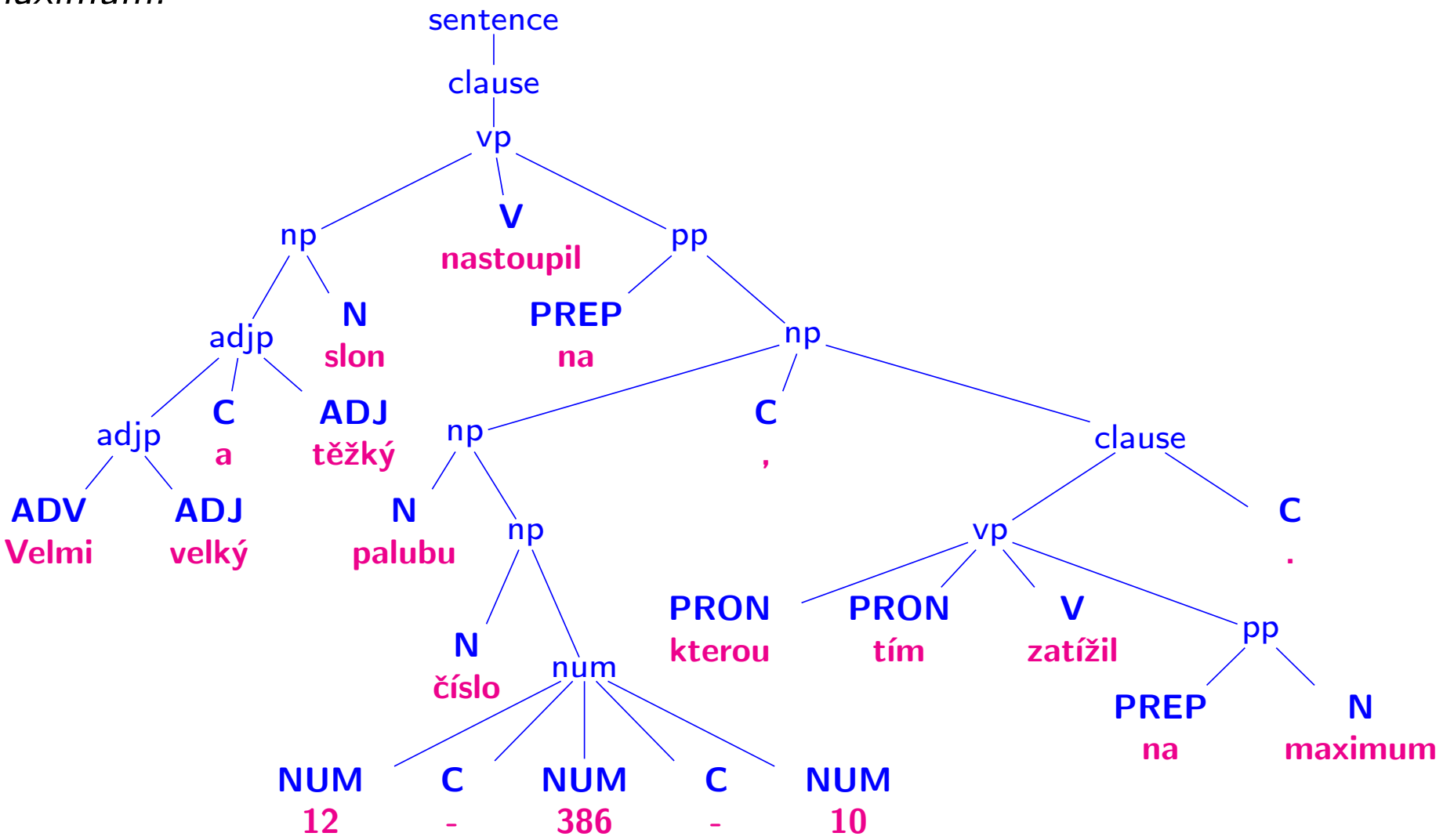
- skupiny slov tvoří větné jednotky, které jsou označovány jako fráze, a jako větné členy (*složky*, *constituents*) formují větu
- např.

  podstatné jméno – součást jmenné fráze (noun phrase – NP)
  jmenná fráze spolu s předložkou – tvoří předložkovou frázi (prepositional phrase – PP)

- syntaktická struktura věty je zachycována jako složkový strom

Složkový a závislostní přístup – složkové stromy

Velmi velký a těžký slon nastoupil na palubu číslo 12-386-10, kterou tím zatížil na maximum.



Složkový a závislostní přístup – pokrač.

závislostní přístup:

- jeden člen vazby je označován jako řídící, druhý jako závislý
- např.

  přídavné jméno závisí na řídícím podstatném jménu

- syntaktická struktura věty je zachycována pomocí závislostního stromu:
  - *uzly* odpovídají elementárním jednotkám vstupu (často slovům)
  - *hrany* označují vztahy závislosti mezi elementárními jednotkami
- závislost není relací mezi jednotlivými slovy, ale obecně relací mezi jedním slovem a frází řízenou druhým slovem. např.

  vazba mezi konkrétním slovesem a podmětem
  nebo vazba mezi slovesem a předmětem věty

  technicky vzato, závislostní relace je vztahem mezi uzly a podstromy (uzlem a všemi uzly, které na tomto uzlu závisí)

Složkový a závislostní přístup – pokrač.

závislostní přístup:

- jeden člen vazby je označován jako řídící, druhý jako závislý
- např.

  přídavné jméno závisí na řídícím podstatném jménu

- syntaktická struktura věty je zachycována pomocí závislostního stromu:
  - *uzly* odpovídají elementárním jednotkám vstupu (často slovům)
  - *hrany* označují vztahy závislosti mezi elementárními jednotkami
- závislost není relací mezi jednotlivými slovy, ale obecně relací mezi jedním slovem a frází řízenou druhým slovem. např.

  vazba mezi konkrétním slovesem a podmětem
  nebo vazba mezi slovesem a předmětem věty

technicky vzato, závislostní relace je vztahem mezi uzly a podstromy (uzlem a všemi uzly, které na tomto uzlu závisí)

Složkový a závislostní přístup – pokrač.

závislostní přístup:

- jeden člen vazby je označován jako řídící, druhý jako závislý
- např.

  přídavné jméno závisí na řídícím podstatném jménu

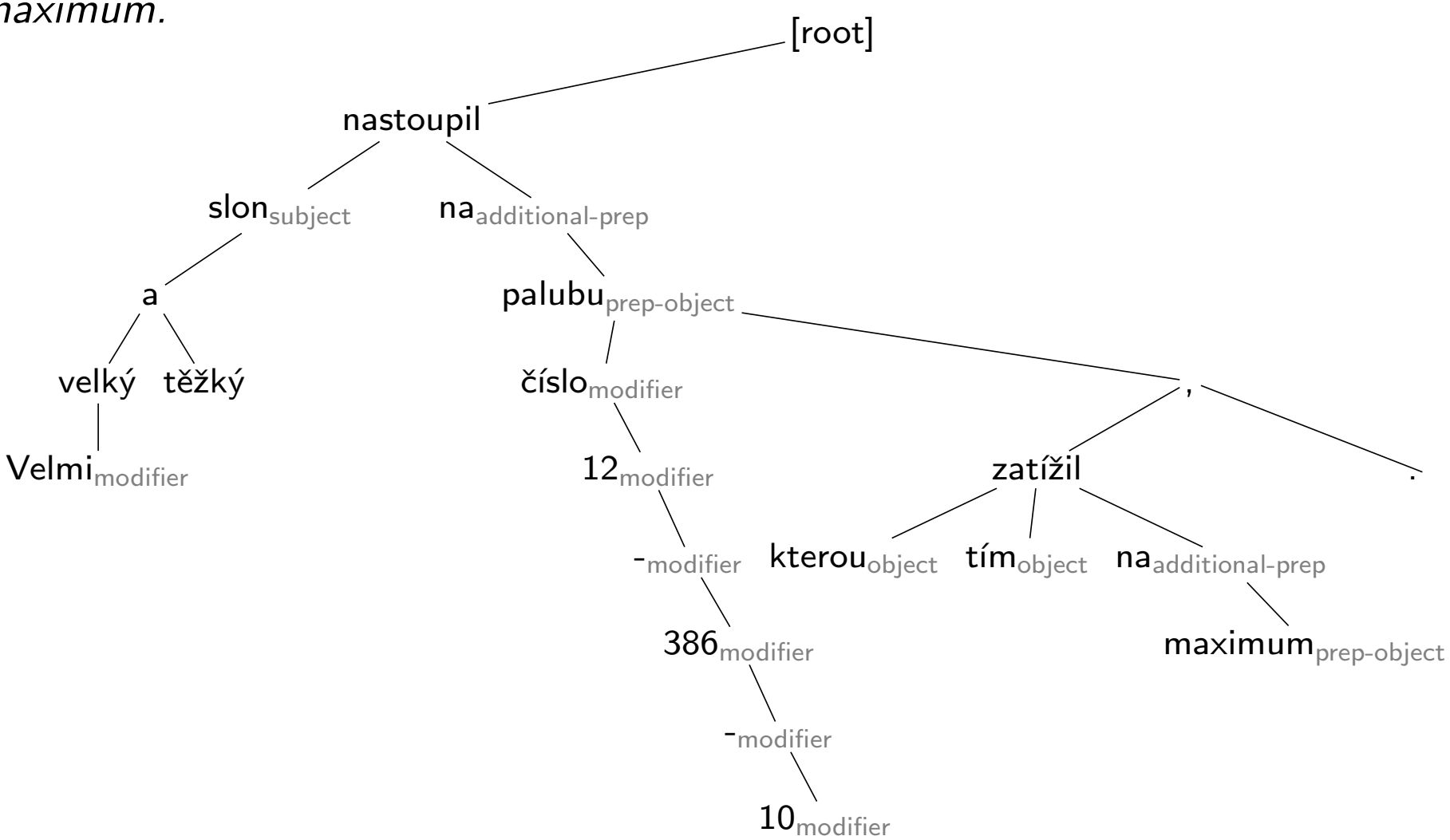
- syntaktická struktura věty je zachycována pomocí závislostního stromu:
  - *uzly* odpovídají elementárním jednotkám vstupu (často slovům)
  - *hrany* označují vztahy závislosti mezi elementárními jednotkami
- závislost není relací mezi jednotlivými slovy, ale obecně relací mezi jedním slovem a frází řízenou druhým slovem. např.

  vazba mezi konkrétním slovesem a podmětem
  nebo vazba mezi slovesem a předmětem věty

  technicky vzato, závislostní relace je vztahem mezi uzly a podstromy (uzlem a všemi uzly, které na tomto uzlu závisí)

Složkový a závislostní přístup – závislostní stromy

Velmi velký a těžký slon nastoupil na palubu číslo 12-386-10, kterou tím zatížil na maximum.



Složkový a závislostní přístup – pokrač.

- jen zřídka se používá čistě složkový či striktně závislostní přístup
- ve složkovém jsou závislosti zpravidla vyjádřeny přidáním označení, která složka je řídící pro danou frázi
- závislostní strom bývá doplněn o informaci určující lineární precedenci
- je možné pak mezi těmito přístupy výsledek převádět

Složkový a závislostní přístup – pokrač.

- jen zřídka se používá čistě složkový či striktně závislostní přístup
- ve složkovém jsou závislosti zpravidla vyjádřeny přidáním označení, která složka je řídící pro danou frázi
- závislostní strom bývá doplněn o informaci určující lineární precedenci
- je možné pak mezi těmito přístupy výsledek převádět

Složkový a závislostní přístup – pokrač.

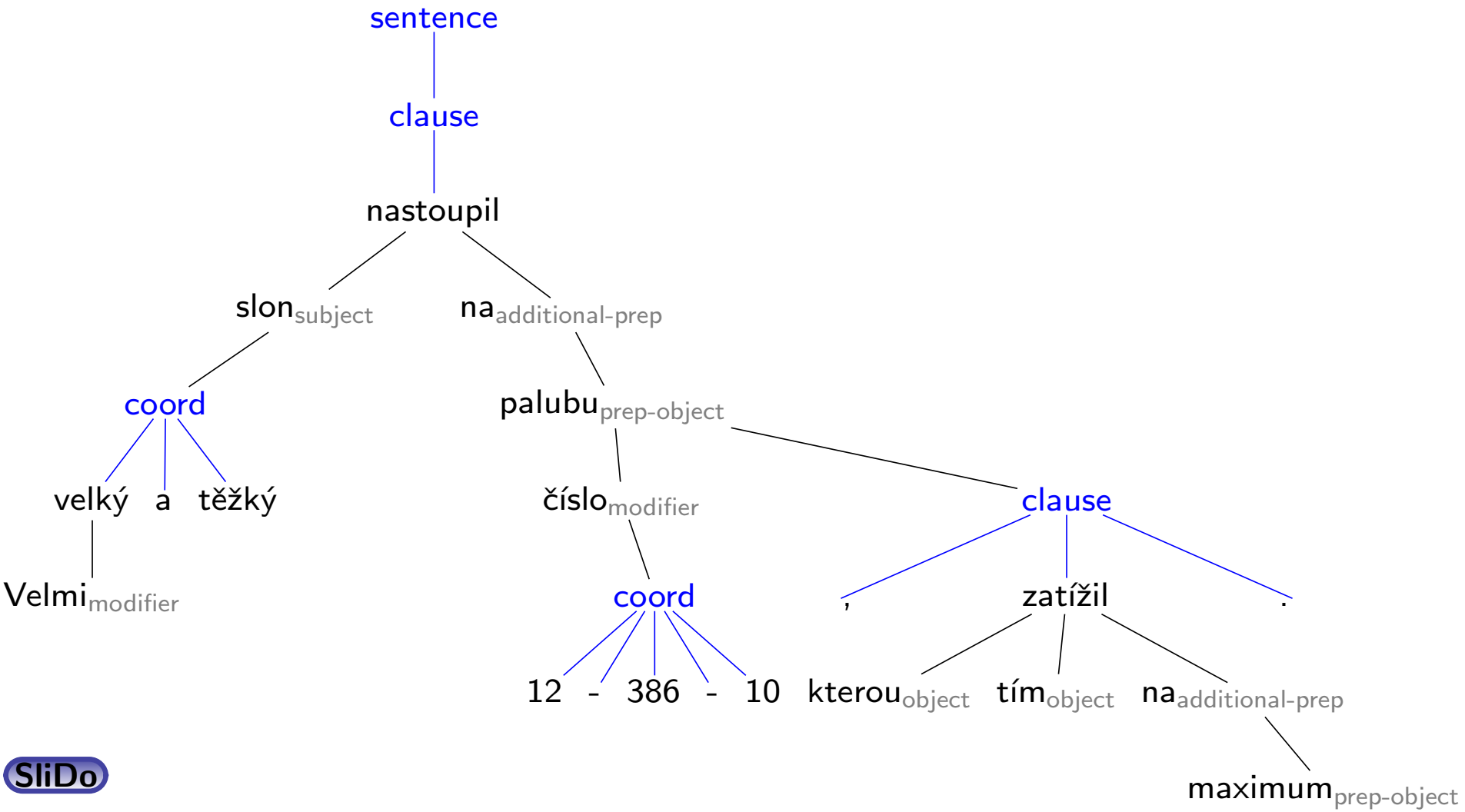
- jen zřídka se používá čistě složkový či striktně závislostní přístup
- ve složkovém jsou závislosti zpravidla vyjádřeny přidáním označení, která složka je řídící pro danou frázi
- závislostní strom bývá doplněn o informaci určující lineární precedenci
- je možné pak mezi těmito přístupy výsledek převádět

Složkový a závislostní přístup – pokrač.

- jen zřídka se používá čistě složkový či striktně závislostní přístup
- ve složkovém jsou závislosti zpravidla vyjádřeny přidáním označení, která složka je řídící pro danou frázi
- závislostní strom bývá doplněn o informaci určující lineární precedenci
- je možné pak mezi těmito přístupy výsledek převádět

Složkový a závislostní přístup – hybridní stromy

Velmi velký a těžký slon nastoupil na palubu číslo 12-386-10, kterou tím zatížil na maximum.

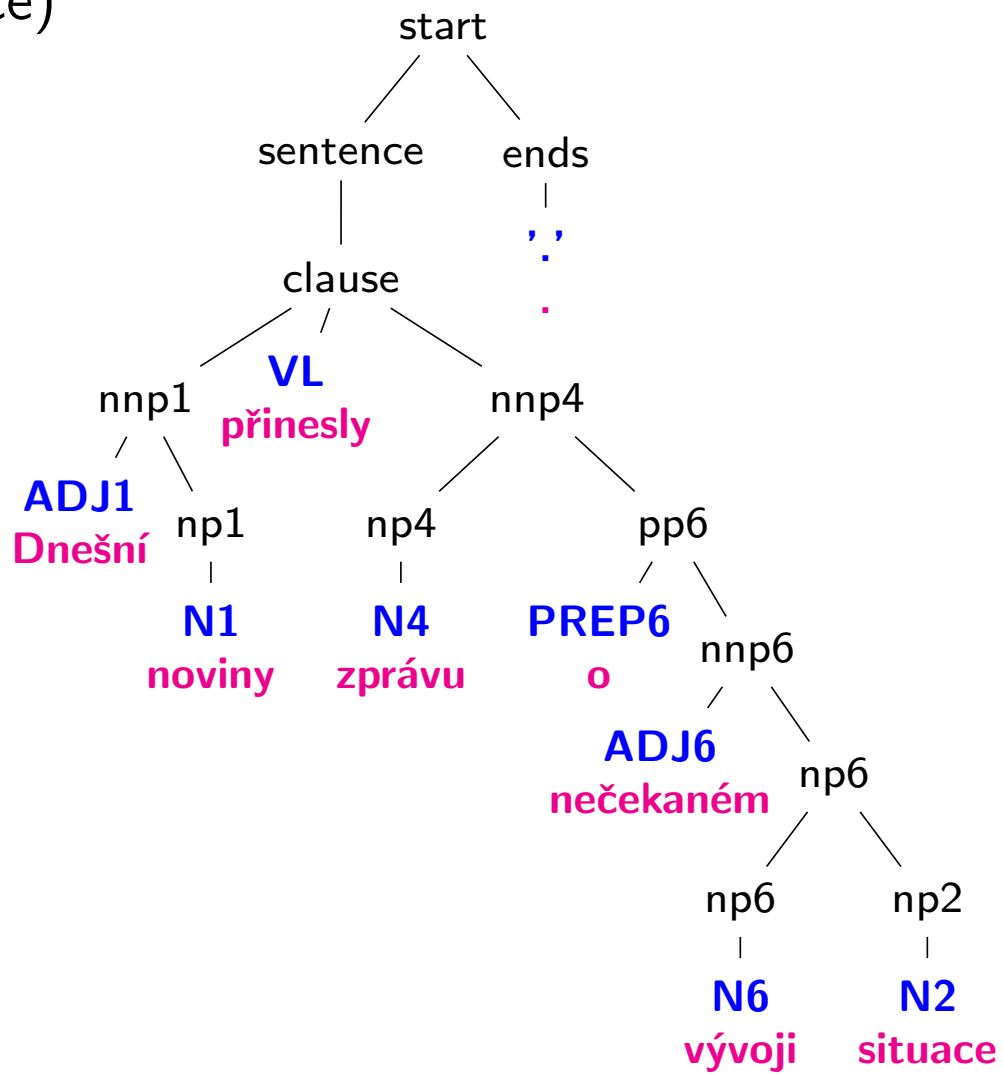


SliDo

Uzly syntaktického stromu

označení uzlu (název neterminálu) podle zvoleného přístupu reprezentuje:

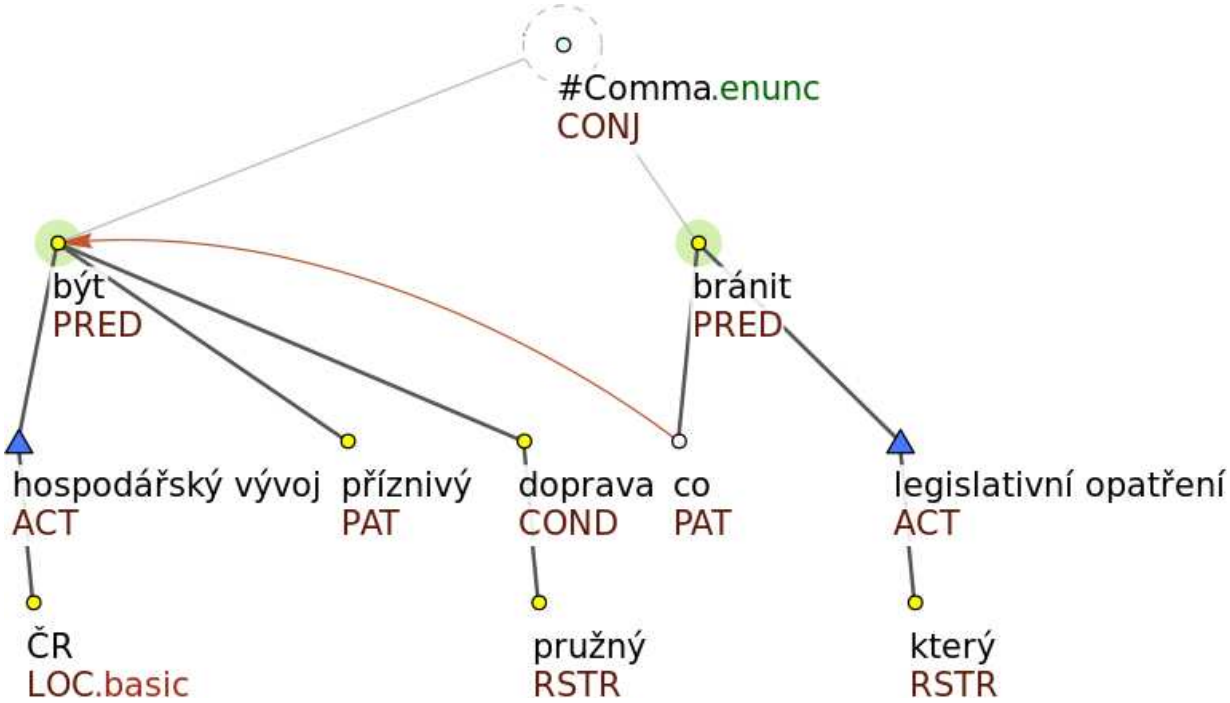
- gramatická role (gramatická funkce)
  - charakterizují vztahy mezi větnými složkami na povrchové úrovni
  - určujeme, zda daný větný člen je NP v roli podmětu (1.pád), NP v roli předmětu (4.pád), ADVP určující lokaci (předl. skupina se 6.pádem) atd.
  - v češtině (a jazycích se systémem gramatických pádů) pomáhá k určení gramatické role právě informace o pádu
  - ovšem přiřazení gramatických rolí ke gramatickým pádům a naopak není zdaleka jednoznačné.



Uzly syntaktického stromu – pokrač.

- tematická role (též hloubkový/sémantický pád)
  - na rozdíl od gramatické role se jedná o sémantickou kategorii
  - určujeme např.:
    - Agens – kdo je životným *původcem* nějaké cílevědomé činnosti
    - Patiens – co hraje roli entity, na kterou *se působí*
    - Donor – osoba, která *dává*
    - Cause – entita, která *způsobuje*, že je něco děláno

Hospodářský vývoj v ČR by mohl být příznivější při pružnější dopravě, v čemž brání některá legislativní opatření.



Příznaky a příznakové struktury

informace v uzlu syntaktického stromu:

- příznaky/rysy (*features*) – zaznamenávají syntaktické nebo sémantické informace o slovu nebo frázi.

  např. test na shodu:

  ```
  Malý Petr přišel domů.
  ```

  podmět (Petr) je ve shodě s přísudkem (přišel) v čísle a rodě
  přídavné jméno (malý) a podstatné jméno (Petr) se shodují v pádě, čísle a rodě

  $$\begin{array}{lcl} \text{S(n, g)} & \rightarrow & \text{NP(_, n, g)} \quad \text{VP(n, g)} \\ \text{NP(c, n, g)} & \rightarrow & \text{ADJ(c, n, g)} \quad \text{N(c, n, g)} \end{array}$$

Příznaky a příznakové struktury – pokrač.

- gramatické znaky (slovní druh, gramatický pád, rod, číslo, osoba, . . .) je výhodné začlenit do gramatiky ve formě dvojic atribut–hodnota
- potom je možné zobecňovat, např. vyjádřit shodu v pádě, čísle a rodě výhradně pomocí atributů
- aplikace – v mnoha gramatických formalismech
  jazykové objekty jsou zde modelovány jako příznakové struktury (*feature structures*), tedy právě matice dvojic atribut–hodnota.
- u složitějších struktur – nestačí pak běžné porovnání
  instanciace jde oběma směry → použije se unifikace

$$\begin{bmatrix} \text{PHON} \langle\ \textit{spí}\ \rangle \\ \text{CAT} \begin{bmatrix} \text{HEAD} \begin{bmatrix} \textit{vfin} \\ \text{VFORM}\ \textit{pres} \\ \text{AGR} \mid \text{PERS}\ \textit{third} \end{bmatrix} \\ \text{VAL} \langle \begin{bmatrix} \text{CAT} \begin{bmatrix} \text{HEAD} \begin{bmatrix} \textit{noun} \\ \text{CASE}\ \textit{nom} \end{bmatrix} \\ \text{VAL} \langle\rangle \end{bmatrix} \\ \text{CONT}\ \boxed{1} \end{bmatrix} \rangle \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

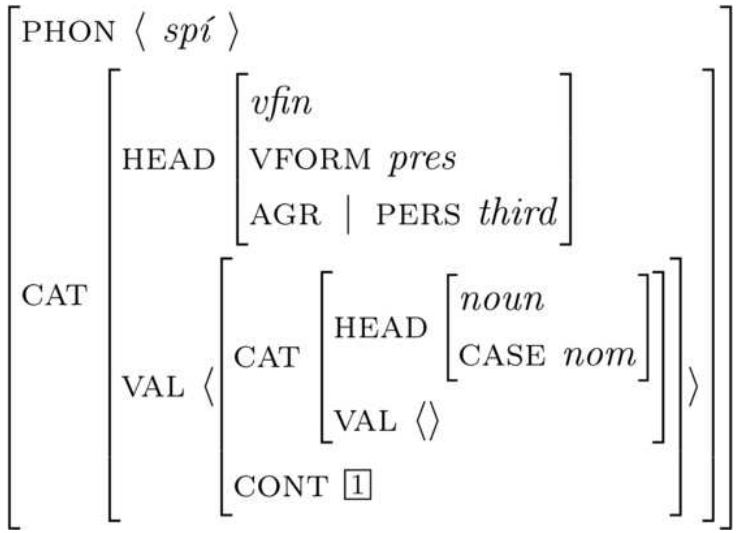
Příznaky a příznakové struktury – pokrač.

- gramatické znaky (slovní druh, gramatický pád, rod, číslo, osoba, . . .) je výhodné začlenit do gramatiky ve formě dvojic atribut–hodnota
- potom je možné zobecňovat, např. vyjádřit shodu v pádě, čísle a rodě výhradně pomocí atributů
- aplikace – v mnoha gramatických formalismech
  jazykové objekty jsou zde modelovány jako příznakové struktury (*feature structures*), tedy právě matice dvojic atribut–hodnota.
- u složitějších struktur – nestačí pak běžné porovnání
  instanciace jde oběma směry → použije se unifikace

$$\begin{bmatrix} \text{PHON} \langle\ \textit{spí}\ \rangle \\ \text{CAT} \begin{bmatrix} \text{HEAD} \begin{bmatrix} \textit{vfin} \\ \text{VFORM}\ \textit{pres} \\ \text{AGR} \mid \text{PERS}\ \textit{third} \end{bmatrix} \\ \text{VAL} \langle \begin{bmatrix} \text{CAT} \begin{bmatrix} \text{HEAD} \begin{bmatrix} \textit{noun} \\ \text{CASE}\ \textit{nom} \end{bmatrix} \\ \text{VAL} \langle\rangle \end{bmatrix} \\ \text{CONT}\ \boxed{1} \end{bmatrix} \rangle \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Příznaky a příznakové struktury – pokrač.

- gramatické znaky (slovní druh, gramatický pád, rod, číslo, osoba, . . .) je výhodné začlenit do gramatiky ve formě dvojic atribut–hodnota
- potom je možné zobecňovat, např. vyjádřit shodu v pádě, čísle a rodě výhradně pomocí atributů
- aplikace – v mnoha gramatických formalismech
  jazykové objekty jsou zde modelovány jako příznakové struktury (*feature structures*), tedy právě matice dvojic atribut–hodnota.
- u složitějších struktur – nestačí pak běžné porovnání
  instanciace jde oběma směry → použije se unifikace



Příznaky a příznakové struktury – pokrač.

- gramatické znaky (slovní druh, gramatický pád, rod, číslo, osoba, . . .) je výhodné začlenit do gramatiky ve formě dvojic atribut–hodnota
- potom je možné zobecňovat, např. vyjádřit shodu v pádě, čísle a rodě výhradně pomocí atributů
- aplikace – v mnoha gramatických formalismech
  jazykové objekty jsou zde modelovány jako příznakové struktury (*feature structures*), tedy právě matice dvojic atribut–hodnota.
- u složitějších struktur – nestačí pak běžné porovnání
  instanciace jde oběma směry → použije se unifikace

$$\begin{bmatrix} \text{PHON} \langle\ \textit{spí}\ \rangle \\ \text{CAT} \begin{bmatrix} \text{HEAD} \begin{bmatrix} \textit{vfin} \\ \text{VFORM}\ \textit{pres} \\ \text{AGR} \mid \text{PERS}\ \textit{third} \end{bmatrix} \\ \text{VAL} \langle \begin{bmatrix} \text{CAT} \begin{bmatrix} \text{HEAD} \begin{bmatrix} \textit{noun} \\ \text{CASE}\ \textit{nom} \end{bmatrix} \\ \text{VAL} \langle\rangle \end{bmatrix} \\ \text{CONT}\ \boxed{1} \end{bmatrix} \rangle \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Pořádek slov ve větě

syntaktická pozice – standardní pozice větných členů ve větě

angličtina: S V O M P T
Subject, Verb, Object, Modus, Place, Temp

- avšak např. předmět se může přesunout na první pozici – topikalizace

  The book I read.

- v češtině – téměř libovolné přesuny syntaktických elementů souvisí s tzv. aktuálním větným členěním

SliDo

Pořádek slov ve větě

syntaktická pozice – standardní pozice větných členů ve větě

angličtina: S V O M P T
Subject, Verb, Object, Modus, Place, Temp

- avšak např. předmět se může přesunout na první pozici – topikalizace

  The book I read.

- v češtině – téměř libovolné přesuny syntaktických elementů souvisí s tzv. aktuálním větným členěním

SliDo

Možnosti zadávání gramatik

- nejčastější formát specifikace gramatik – produkční pravidla
  gramatika se skládá z pravidel generujících správně utvořené řetězce

S	→	NP VP
NP	→	Člověk
VP	→	myslí

- cíl analyzátoru – najít odvození vstupního řetězce ze zadaného neterminálu (označovaného obyčejně velkým písmenem *S* z anglického *sentence* – věta) na základě daných pravidel
- pokud je tohoto cíle dosaženo, vstup je akceptován a je mu přiřazena odpovídající struktura

Možnosti zadávání gramatik

- nejčastější formát specifikace gramatik – produkční pravidla
  gramatika se skládá z pravidel generujících správně utvořené řetězce

S	$\rightarrow$	NP VP
NP	$\rightarrow$	Člověk
VP	$\rightarrow$	myslí

- cíl analyzátoru – najít odvození vstupního řetězce ze zadaného neterminálu (označovaného obyčejně velkým písmenem *S* z anglického *sentence* – věta) na základě daných pravidel
- pokud je tohoto cíle dosaženo, vstup je akceptován a je mu přiřazena odpovídající struktura

Možnosti zadávání gramatik

- nejčastější formát specifikace gramatik – produkční pravidla
  gramatika se skládá z pravidel generujících správně utvořené řetězce

S	$\rightarrow$	NP VP
NP	$\rightarrow$	Člověk
VP	$\rightarrow$	myslí

- cíl analyzátoru – najít odvození vstupního řetězce ze zadaného neterminálu (označovaného obyčejně velkým písmenem *S* z anglického *sentence* – věta) na základě daných pravidel
- pokud je tohoto cíle dosaženo, vstup je akceptován a je mu přiřazena odpovídající struktura

Obsah

1. Aktualita - ChatGPT-4
2. Syntaxe, syntaktická analýza
   - Základní termíny
   - Analýza programovacích a přirozených jazyků
   - Gramatiky přirozeného jazyka
3. Specifikace gramatik
   - Složkový a závislostní přístup
   - Uzly syntaktického stromu
   - Pořádek slov ve větě
   - Možnosti zadávání gramatik
4. Chomského teorie syntaxe
   - Standardní teorie syntaxe
5. Východiska syntaktické analýzy
   - Návrh podkladů a datových struktur
   - Grammatical Framework

Standardní teorie syntaxe

- 50. léta 20. stol. – Noam Chomsky vytvořil formální teorii syntaxe
- jedna ze základních tezí – autonomie syntaxe
  ⇐ k ověření syntaktické správnosti věty nepotřebujeme znát její význam

  Bezbarvé zelené myšlenky zuřivě spí.
  vs.
  Spí myšlenky zelené zuřivě bezbarvé.

  resp. v angličtině

  Colorless green ideas sleep furiously.
  vs.
  Furiously sleep ideas green colorless.

- syntaktické principy mají univerzální platnost pro různé přirozené jazyky

Standardní teorie syntaxe

- 50. léta 20. stol. – Noam Chomsky vytvořil formální teorii syntaxe
- jedna ze základních tezí – autonomie syntaxe
  ⇐ k ověření syntaktické správnosti věty nepotřebujeme znát její význam

Bezbarvé zelené myšlenky zuřivě spí.
vs.
Spí myšlenky zelené zuřivě bezbarvé.

resp. v angličtině

Colorless green ideas sleep furiously.
vs.
Furiously sleep ideas green colorless.

- syntaktické principy mají univerzální platnost pro různé přirozené jazyky

Standardní teorie syntaxe

- 50. léta 20. stol. – Noam Chomsky vytvořil formální teorii syntaxe
- jedna ze základních tezí – autonomie syntaxe
  ⇐ k ověření syntaktické správnosti věty nepotřebujeme znát její význam

  Bezbarvé zelené myšlenky zuřivě spí.
  vs.
  Spí myšlenky zelené zuřivě bezbarvé.

  resp. v angličtině

  Colorless green ideas sleep furiously.
  vs.
  Furiously sleep ideas green colorless.

- syntaktické principy mají univerzální platnost pro různé přirozené jazyky

Chomského standardní teorie syntaxe

znalost jazyka = gramatika

Chomského předpoklady o rozumu:

- rozum má *vrozenou strukturu*
- rozum je *modulární*
- rozum obsahuje speciální modul pro *jazyk*
  porozumění jazyku je oddělitelné od jiných aktivit
- syntaxe je *formální*
  nezávislá na významu a komunikačních funkcích
- znalost jazyka je *modulární*
  obsahuje moduly pro jednotlivé fáze analýzy jazyka

Chomského standardní teorie syntaxe

znalost jazyka = gramatika

Chomského předpoklady o rozumu:

- rozum má *vrozenou strukturu*
- rozum je *modulární*
- rozum obsahuje speciální modul pro *jazyk*
  porozumění jazyku je oddělitelné od jiných aktivit
- syntaxe je *formální*
  nezávislá na významu a komunikačních funkcích
- znalost jazyka je *modulární*
  obsahuje moduly pro jednotlivé fáze analýzy jazyka

Chomského standardní teorie syntaxe

znalost jazyka = gramatika

Chomského předpoklady o rozumu:

- rozum má *vrozenou strukturu*
- rozum je *modulární*
- rozum obsahuje speciální modul pro *jazyk*
  porozumění jazyku je oddělitelné od jiných aktivit
- syntaxe je *formální*
  nezávislá na významu a komunikačních funkcích
- znalost jazyka je *modulární*
  obsahuje moduly pro jednotlivé fáze analýzy jazyka

Chomského standardní teorie syntaxe

znalost jazyka = gramatika

Chomského předpoklady o rozumu:

- rozum má *vrozenou strukturu*
- rozum je *modulární*
- rozum obsahuje speciální modul pro *jazyk*
  porozumění jazyku je oddělitelné od jiných aktivit
- syntaxe je *formální*
  nezávislá na významu a komunikačních funkcích
- znalost jazyka je *modulární*
  obsahuje moduly pro jednotlivé fáze analýzy jazyka

Chomského standardní teorie syntaxe

znalost jazyka = gramatika

Chomského předpoklady o rozumu:

- rozum má *vrozenou strukturu*
- rozum je *modulární*
- rozum obsahuje speciální modul pro *jazyk*
  porozumění jazyku je oddělitelné od jiných aktivit
- syntaxe je *formální*
  nezávislá na významu a komunikačních funkcích
- znalost jazyka je *modulární*
  obsahuje moduly pro jednotlivé fáze analýzy jazyka

Standardní teorie syntaxe – pokrač.

- Noam Chomsky, Aspects of the Theory of Syntax, 1965 – standardní teorie syntaxe – transformační generativní gramatika (TGG)
- snaží se řešit i zachycení sémantických vztahů v hloubkové struktuře
- postupně se vyvinula:
  - v rozšířenou standardní teorii (1968)
  - později tzv. Government & Binding Theory (teorie nadřazení a vázání, 1981), která zakládá na pojmu *univerzální gramatiky*
  - 90. léta – teorie minimalismu (snaha po úspornosti popisného aparátu)

Standardní teorie syntaxe – pokrač.

- Noam Chomsky, Aspects of the Theory of Syntax, 1965 – standardní teorie syntaxe – transformační generativní gramatika (TGG)
- snaží se řešit i zachycení sémantických vztahů v hloubkové struktuře
- postupně se vyvinula:
  - v rozšířenou standardní teorii (1968)
  - později tzv. Government & Binding Theory (teorie nadřazení a vázání, 1981), která zakládá na pojmu *univerzální gramatiky*
  - 90. léta – teorie minimalismu (snaha po úspornosti popisného aparátu)

Standardní teorie syntaxe – pokrač.

- Noam Chomsky, Aspects of the Theory of Syntax, 1965 – standardní teorie syntaxe – transformační generativní gramatika (TGG)
- snaží se řešit i zachycení sémantických vztahů v hloubkové struktuře
- postupně se vyvinula:
  - v rozšířenou standardní teorii (1968)
  - později tzv. Government & Binding Theory (teorie nadřazení a vázání, 1981), která zakládá na pojmu *univerzální gramatiky*
  - 90. léta – teorie minimalismu (snaha po úspornosti popisného aparátu)

Standardní teorie syntaxe – pokrač.

základní části standardní teorie:

- bázová komponenta
  - bezkontextová pravidla a schémata pravidel generují základní strukturu větných členů
  - lexikon popisuje lexikální kategorie a syntaktické rysy lexikálních položek
- transformační pravidla – vložení, smazání, přesun, změna-rysu, kopie-rysu
  transformace převádí hloubkové struktury na struktury povrchové

Příklad bázové komponenty

pravidla:

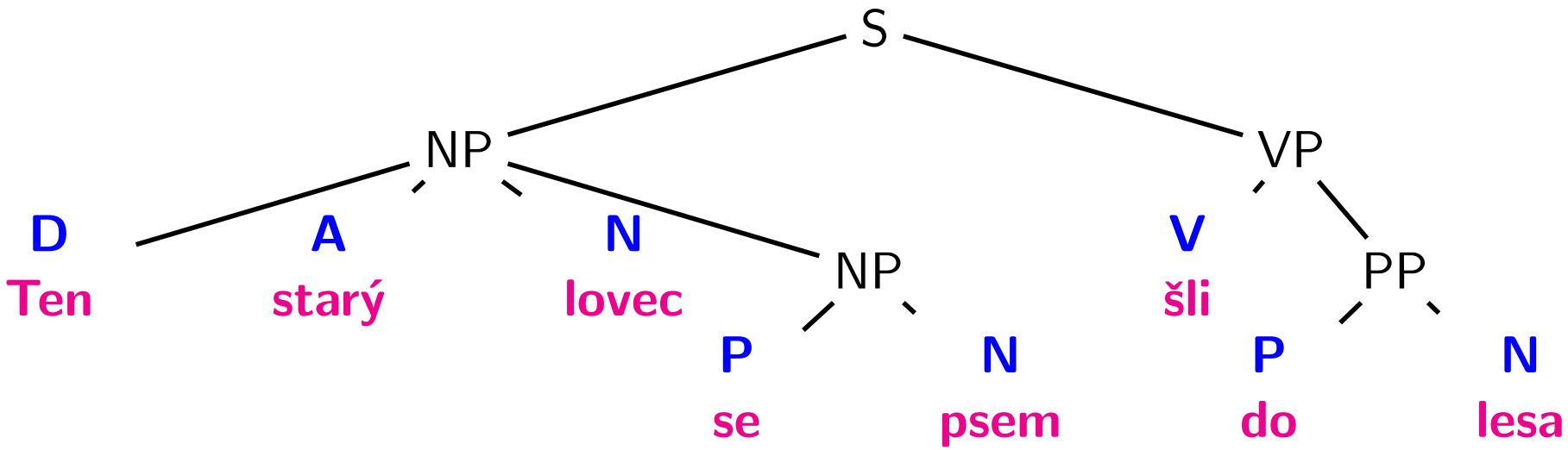
$S \rightarrow NP\ VP$
$NP \rightarrow (D)\ A^*\ N\ PP^*$
$VP \rightarrow V\ (NP)\ (PP)$
$PP \rightarrow P\ NP$

lexikon:

D: ten, ta
A: velký, hnědý, starý
N: pták, psem, lovec, já, lesa
V: loví, jí, šli
P: se, do

věta: `Ten starý lovec se psem šli do lesa.`

syntaktický strom:



Příklad transformačních pravidel

např. pasivizace (v angličtině):

John chose a book.

NP1 – V – NP2

1 – 2 – 3 → 3 – 2+be+en – by+1

přesuny + vložení + změny-rysu

- transformace:
  - obligatorní – např. přesun slovesné koncovky za sloveso
  - fakultativní – např. pasivizace, tvorba otázek, negace (změna významu)
- pravidla bázové komponenty – popisují strom hloubkové struktury v obvyklém pořadí
- transformace umožňují jeho změny na různé povrchové varianty (trpný rod, otázka, . . .)
- stopa (*trace*) – ukazuje, kde byl prvek před přemístěním

Příklad transformačních pravidel

např. pasivizace (v angličtině):

John chose a book.

NP1 – V – NP2

1 – 2 – 3 → 3 – 2+be+en – by+1

přesuny + vložení + změny-rysu

- transformace:
  - obligatorní – např. přesun slovesné koncovky za sloveso
  - fakultativní – např. pasivizace, tvorba otázek, negace (změna významu)
- pravidla bázové komponenty – popisují strom hloubkové struktury v obvyklém pořadí
- transformace umožňují jeho změny na různé povrchové varianty (trpný rod, otázka, . . .)
- stopa (*trace*) – ukazuje, kde byl prvek před přemístěním

Příklad transformačních pravidel

např. pasivizace (v angličtině):

John chose a book.

NP1 – V – NP2

1 – 2 – 3 → 3 – 2+be+en – by+1

přesuny + vložení + změny-rysu

- transformace:
  - obligatorní – např. přesun slovesné koncovky za sloveso
  - fakultativní – např. pasivizace, tvorba otázek, negace (změna významu)
- pravidla bázové komponenty – popisují strom hloubkové struktury v obvyklém pořadí
- transformace umožňují jeho změny na různé povrchové varianty (trpný rod, otázka, . . .)
- stopa (*trace*) – ukazuje, kde byl prvek před přemístěním

Příklad transformačních pravidel

např. pasivizace (v angličtině):

John chose a book.

NP1 – V – NP2

1 – 2 – 3 → 3 – 2+be+en – by+1

přesuny + vložení + změny-rysu

- transformace:
  - obligatorní – např. přesun slovesné koncovky za sloveso
  - fakultativní – např. pasivizace, tvorba otázek, negace (změna významu)
- pravidla bázové komponenty – popisují strom hloubkové struktury v obvyklém pořadí
- transformace umožňují jeho změny na různé povrchové varianty (trpný rod, otázka, . . .)
- stopa (*trace*) – ukazuje, kde byl prvek před přemístěním

Příklad transformačních pravidel

např. pasivizace (v angličtině):

John chose a book.

NP1 – V – NP2

1 – 2 – 3 → 3 – 2+be+en – by+1

přesuny + vložení + změny-rysu

- transformace:
  - obligatorní – např. přesun slovesné koncovky za sloveso
  - fakultativní – např. pasivizace, tvorba otázek, negace (změna významu)
- pravidla bázové komponenty – popisují strom hloubkové struktury v obvyklém pořadí
- transformace umožňují jeho změny na různé povrchové varianty (trpný rod, otázka, . . .)
- stopa (*trace*) – ukazuje, kde byl prvek před přemístěním

Obsah

1. Aktualita - ChatGPT-4
2. Syntaxe, syntaktická analýza
   - Základní termíny
   - Analýza programovacích a přirozených jazyků
   - Gramatiky přirozeného jazyka
3. Specifikace gramatik
   - Složkový a závislostní přístup
   - Uzly syntaktického stromu
   - Pořádek slov ve větě
   - Možnosti zadávání gramatik
4. Chomského teorie syntaxe
   - Standardní teorie syntaxe
5. Východiska syntaktické analýzy
   - Návrh podkladů a datových struktur
   - Grammatical Framework

Návrh podkladů a datových struktur

- syntaktický strom – kompletní hierarchický popis struktury věty
- úkol syntaktické analýzy = pro danou gramatiku a daný vstup (větu) dát všechny syntaktické stromy
- existují techniky pro kompaktní uložení lesa takových stromů (chart parsing)
- jelikož se zabýváme výhradně syntaktickou strukturou a nevylučujeme a priori strukturní stromy s absurdní interpretací, má většina vět mnoho různých 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.

```
Pocet uspesnych stromu = 3 610 464
```

Návrh podkladů a datových struktur

- syntaktický strom – kompletní hierarchický popis struktury věty
- úkol syntaktické analýzy = pro danou gramatiku a daný vstup (větu) dát všechny syntaktické stromy
- existují techniky pro kompaktní uložení lesa takových stromů (chart parsing)
- jelikož se zabýváme výhradně syntaktickou strukturou a nevylučujeme a priori strukturní stromy s absurdní interpretací, má většina vět mnoho různých 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.

```
Pocet uspesnych stromu = 3 610 464
```

Návrh podkladů a datových struktur

- syntaktický strom – kompletní hierarchický popis struktury věty
- úkol syntaktické analýzy = pro danou gramatiku a daný vstup (větu) dát všechny syntaktické stromy
- existují techniky pro kompaktní uložení lesa takových stromů (chart parsing)
- jelikož se zabýváme výhradně syntaktickou strukturou a nevylučujeme a priori strukturní stromy s absurdní interpretací, má většina vět mnoho různých 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.

```
Pocet uspesnych stromu = 3 610 464
```

Návrh podkladů a datových struktur

- syntaktický strom – kompletní hierarchický popis struktury věty
- úkol syntaktické analýzy = pro danou gramatiku a daný vstup (větu) dát všechny syntaktické stromy
- existují techniky pro kompaktní uložení lesa takových stromů (chart parsing)
- jelikož se zabýváme výhradně syntaktickou strukturou a nevylučujeme a priori strukturní stromy s absurdní interpretací, má většina vět mnoho různých 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.

```
Pocet uspesnych stromu = 3 610 464
```

Návrh podkladů a datových struktur – pokrač.

Automatická analýza syntaxe musí vždy projít třemi fázemi:

1. musí být zvolena notace pro zápis gramatiky – gramatický formalismus
2. musí být ve zvoleném formalismu napsána gramatika pro každý jazyk, který bude zpracováván
3. musí být vybrán nebo navržen algoritmus, který určí, zda daný vstup odpovídá gramatice, a pokud ano, jaký popis mu odpovídá

Návrh podkladů a datových struktur – pokrač.

Automatická analýza syntaxe musí vždy projít třemi fázemi:

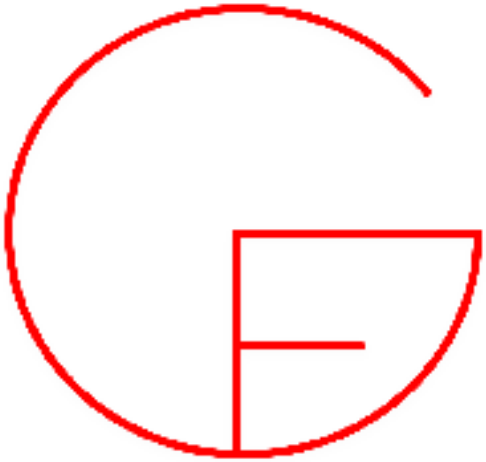
1. musí být zvolena notace pro zápis gramatiky – gramatický formalismus
2. musí být ve zvoleném formalismu napsána gramatika pro každý jazyk, který bude zpracováván
3. musí být vybrán nebo navržen algoritmus, který určí, zda daný vstup odpovídá gramatice, a pokud ano, jaký popis mu odpovídá

Návrh podkladů a datových struktur – pokrač.

Automatická analýza syntaxe musí vždy projít třemi fázemi:

1. musí být zvolena notace pro zápis gramatiky – gramatický formalismus
2. musí být ve zvoleném formalismu napsána gramatika pro každý jazyk, který bude zpracováván
3. musí být vybrán nebo navržen algoritmus, který určí, zda daný vstup odpovídá gramatice, a pokud ano, jaký popis mu odpovídá

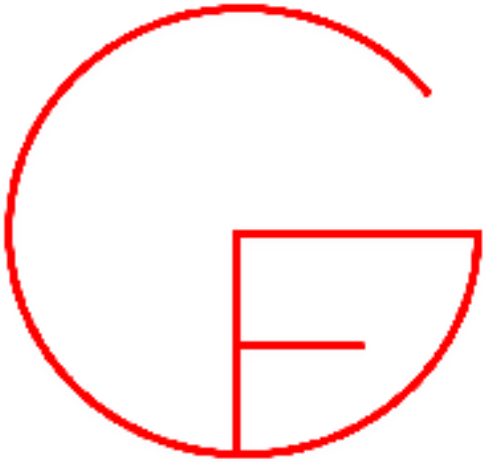
Grammatical Framework



www.grammaticalframework.org

- odděluje abstraktní a konkrétní gramatiky
- návrh gramatik desítek jazyků
- popis gramatiky využívá pro analýzu i generování (tzv. *linearizace*)
- abstraktní gramatika může sloužit jako interlingua při překladu desítky navazujících aplikací
  http://www.grammaticalframework.org/demos/

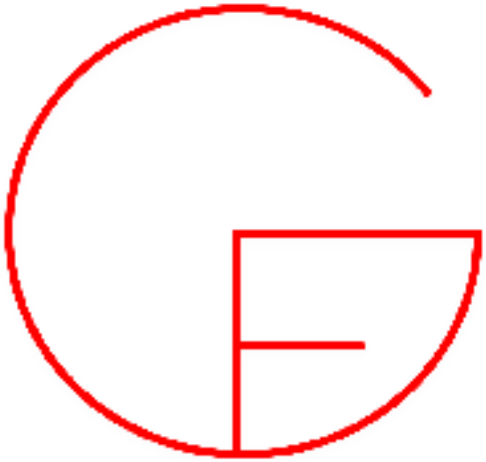
Grammatical Framework



`www.grammaticalframework.org`

- odděluje abstraktní a konkrétní gramatiky
- návrh gramatik desítek jazyků
- popis gramatiky využívá pro analýzu i generování (tzv. *linearizace*)
- abstraktní gramatika může sloužit jako interlingua při překladu desítky navazujících aplikací
  `http://www.grammaticalframework.org/demos/`

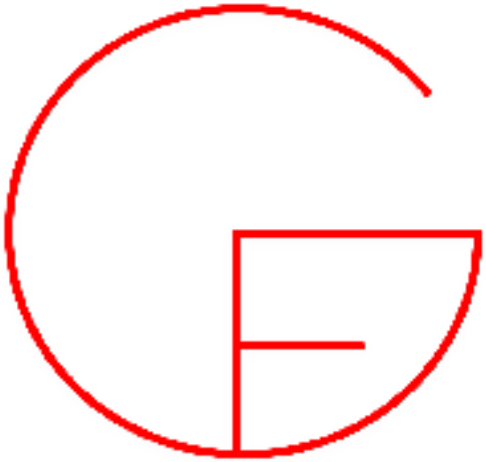
Grammatical Framework



www.grammaticalframework.org

- odděluje abstraktní a konkrétní gramatiky
- návrh gramatik desítek jazyků
- popis gramatiky využívá pro analýzu i generování (tzv. *linearizace*)
- abstraktní gramatika může sloužit jako interlingua při překladu desítky navazujících aplikací
  http://www.grammaticalframework.org/demos/

Grammatical Framework



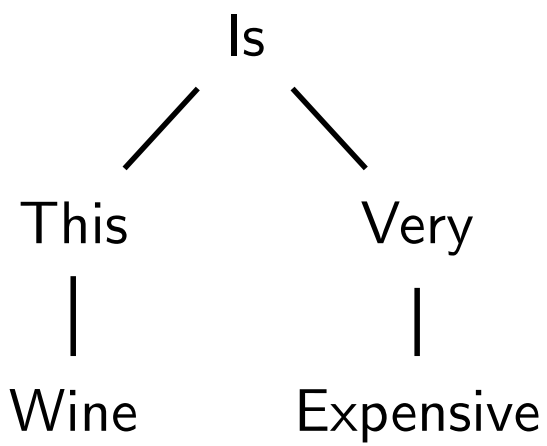
www.grammaticalframework.org

- odděluje abstraktní a konkrétní gramatiky
- návrh gramatik desítek jazyků
- popis gramatiky využívá pro analýzu i generování (tzv. *linearizace*)
- abstraktní gramatika může sloužit jako interlingua při překladu desítky navazujících aplikací
  http://www.grammaticalframework.org/demos/

Grammatical Framework – abstraktní gramatika

```
1  abstract Food = {
2
3    cat Kind;
4    fun Wine : Kind;
5    fun Cheese : Kind;
6    fun Fish : Kind;
7
8    cat Item;
9    fun The : Kind -> Item;
10   fun This : Kind -> Item;
11
12   cat Quality;
13   fun Delicious : Quality;
14   fun Expensive : Quality;
15   fun Fresh : Quality;
16   fun Very : Quality -> Quality;
17
18   cat Phrase;
19   fun Is : Item -> Quality -> Phrase;
20
21   flags startcat = Phrase;
22 }
```

Is (This Wine) (Very Expensive)



Grammatical Framework – konkrétní gramatika Eng

```
concrete FoodEng of Food = {

  lincat Kind = {s : Str};
  lin Wine = {s = "wine"};
  lin Cheese = {s = "cheese"};
  lin Fish = {s = "fish"};

  lincat Item = {s : Str};
  lin The kind = {s = "the" ++ kind.s};
  lin This kind = {s = "this" ++ kind.s};

  lincat Quality = {s : Str};
  lin Delicious = {s = "delicious"};
  lin Expensive = {s = "expensive"};
  lin Fresh = {s = "fresh"};
  lin Very quality = {s = "very" ++ quality.s};

  lincat Phrase = {s : Str};
  lin Is item quality = {s = item.s ++ "is" ++ quality.s};

}
```

Grammatical Framework – konkrétní gramatika CZ

```
concrete FoodCze of Food = {

  param Gender = Masc | Fem | Neut;

  lincat Kind = {s : Str; g : Gender};
  lin Wine = {s = "víno"; g = Neut};
  lin Cheese = {s = "sýr"; g = Masc};
  lin Fish = {s = "ryba"; g = Fem};

  lincat Item = {s : Str; g : Gender};
  lin The kind = {
    s = case kind.g of {Masc => "ten"; Fem => "ta"; Neut => "to"} ++ kind.s;
    g = kind.g
  };
  lin This kind = {
    s = case kind.g of {Masc => "tento"; Fem => "tato"; Neut => "toto"} ++ kind.s;
    g = kind.g
  };

  lincat Quality = {s : Gender => Str};
  lin Delicious = {
    s = table {Masc => "dobrý"; Fem => "dobrá"; Neut => "dobré"}
  };
  lin Expensive = {
    s = table {Masc => "drahý"; Fem => "drahá"; Neut => "drahé"}
  };
  lin Fresh = {
    s = table {Masc => "čerstvý"; Fem => "čerstvá"; Neut => "čerstvé"}
  };
  lin Very quality = {
    s = table {g => "velmi" ++ quality.s!g}
  };

  lincat Phrase = {s : Str};
  lin Is item quality = {s = item.s ++ "je" ++ quality.s!item.g};
```

Grammatical Framework – překlad

```
> import Food.gr
linking ... OK

Food> import FoodEng.gf
linking ... OK

Languages: FoodEng
0 msec
Food> import FoodCze.gf
linking ... OK

Languages: FoodCze FoodEng
4 msec
Food> linearize Is (This Cheese) Delicious
tento sýr je dobrý
this cheese is delicious

4 msec
Food> parse -lang=Eng "this wine is expensive" | linearize -lang=Cze
toto víno je velmi drahé
```

viz možnosti např. na www.phrasomatic.net