

Zpracování přirozeného jazyka

Aleš Horák

E-mail: hales@fi.muni.cz
<http://nlp.fi.muni.cz/ui/>

Obsah:

- ▶ Komunikace
- ▶ Gramatiky
- ▶ Analýza přirozeného jazyka
- ▶ PA026 – Projekt z umělé inteligence

Přírozený jazyk – prostředek komunikace

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

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

2 náhledy na **přírozený 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 \Leftrightarrow **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

KOMUNIKAČNÍ 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?”
- **příkázat/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:

- komunikační situace
- sémantiky a syntaxe (sdílených konvencí)
- informace o Posluchači – cíle, znalosti, rozumnost

Komunikační fáze (při informování)

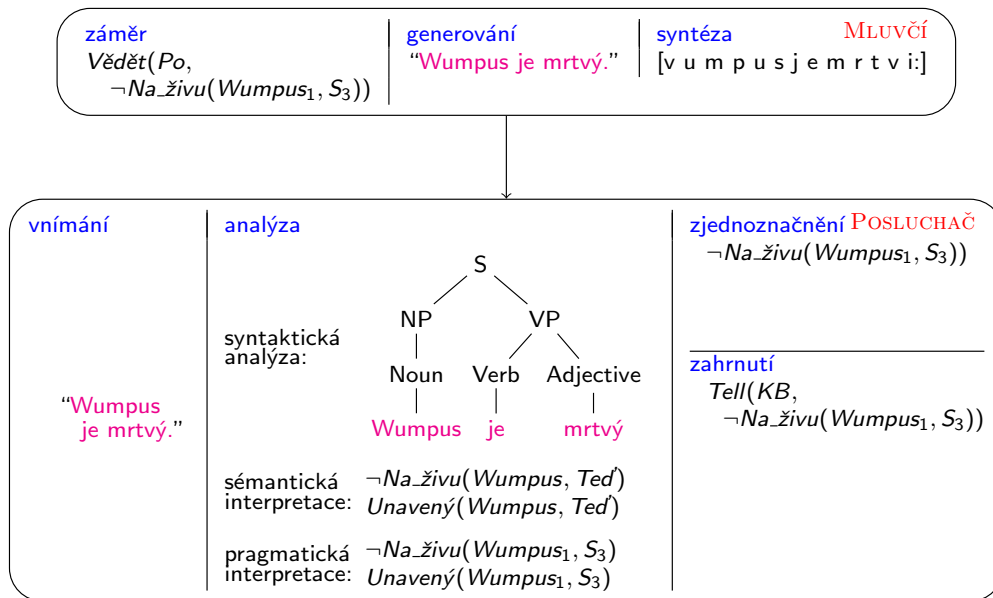
průběh promluvy je možné rozložit na **fáze**:

- **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, \dots, 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



Gramatiky

zvířata používají místo vět izolované symboly \Rightarrow omezená sada komunikovatelných situací \rightarrow 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 $\Leftrightarrow S$ je analyzovatelný danou gramatikou
- příslušná gramatika generuje $S \Leftrightarrow S$ je správný řetězec/věta z jazyka

gramatika je zadána jako množina přepisovacích pravidel

$$S \rightarrow NP VP$$

$$Pronoun \rightarrow já | ty | on | \dots$$

v tomto příkladu: S větný symbol – kořenový symbol gramatiky
 NP, VP neterminály
 $já, ty, \dots$ terminály

Typy gramatik

- ▶ regulární (regular) neterminál \rightarrow terminál[neterminál]

$$S \rightarrow aS$$

$$S \rightarrow b$$

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

- ▶ bezkontextové (context-free) neterminál \rightarrow cokoliv

$$S \rightarrow aSb$$

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)

$$\underline{ASB} \rightarrow \underline{AAaBB}$$

umí $a^n b^n c^n$

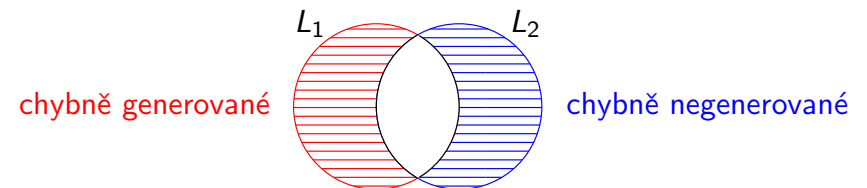
- ▶ rekurzivně vyčíslitelné (recursively enumerable) – bez omezení ekvivalentní síle Turingova stroje

přirozený jazyk byl dlouho pokládán za bezkontextový \rightarrow nyní prokázáno, že obsahuje kontextové prvky

Přesnost a pokrytí gramatiky

u složitějších jazyků (např. přirozených)

\rightarrow 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

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 $\langle \mathbf{hlava} \rangle \rightarrow \langle \mathbf{tělo} \rangle$, kde $\langle \mathbf{hlava} \rangle$ je opět neterminál a $\langle \mathbf{tělo} \rangle$ je opět konečná posloupnost terminálů a neterminálů
- ▶ pravidlo $\langle \mathbf{hlava} \rangle \rightarrow \langle \mathbf{tělo} \rangle$ znamená, že jedním z možných tvarů $\langle \mathbf{hlavy} \rangle$ je $\langle \mathbf{tělo} \rangle$, neboli: $\langle \mathbf{hlavu} \rangle$ je možno přepsat na $\langle \mathbf{tělo} \rangle$

Rozdíly a rozšíření DCG oproti CFG

DCG:

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

- ▶ věta = seznam 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** – reprezentujeme 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_phrase2(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

Gramatika přímo na slovech je příliš rozsáhlá. Řešením je rozdělení slov do **kategorií**:

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

- základní tvar** slova (*lemma*), podle koncovky se určují **gramatické kategorie**

% *slovník základních gramatických kategorií -- pád, číslo, rod*

% *adj(+Slovo, +Lemma, +Pád, +Císlo, +Rod)*

adj(chytrý, chytrý, 1, sg, mz). *adj*(chytrého, chytrý, 2, sg, mz).

adj(chytrí, chytrý, 1, pl, mz).

- reálná morfologická analýza ČJ – program MAJKA na FI MU

<http://nlp.fi.muni.cz/projekty/wwwajka/>

```

ajka>nejneuvěřitelněji          ajka>hnát
<s> nej-ne=uvěřiteln==ěji= (1022)  <s> ==hnát=t= (618)
  <l>uvěřitelně                    <l>hnát
  <c>k6xMeNd3                       <c>k5eAmFaI
                                     <s> =hnát=== (1030)
                                     <l>hnát
                                     <c>k1gInSc1,k1gInSc4

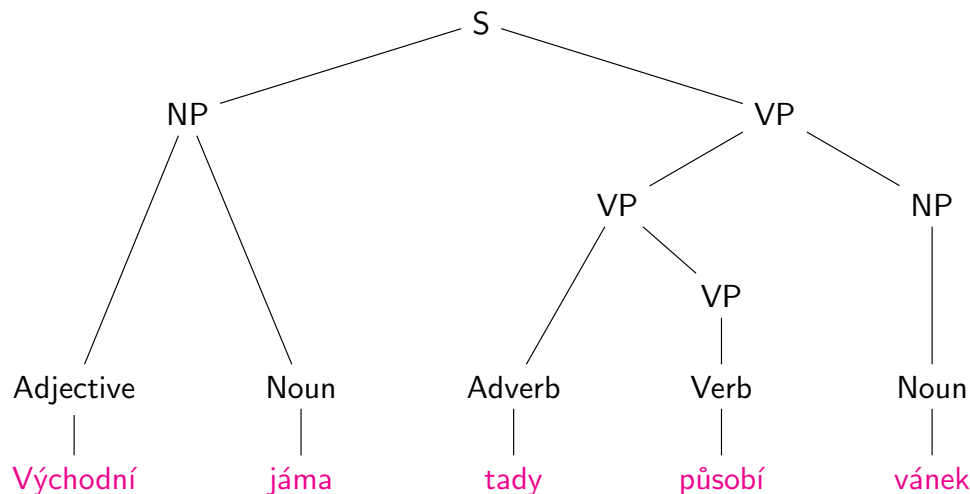
```

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 Adverb VP	%	jdu + dopředu
PP	→	Preposition NP	%	na + východ
	→	' , který ' VP	%	,který + zapáchá

Syntaktický strom

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



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

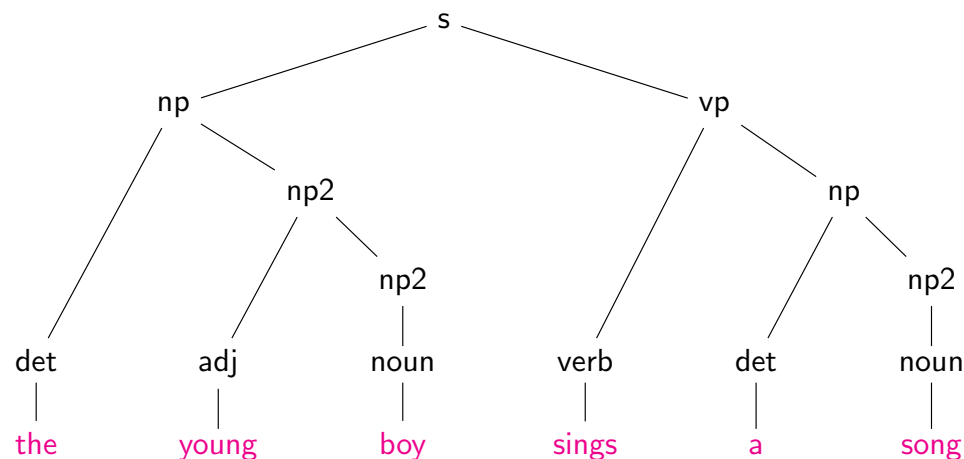
`sentence(s(N,V)) --> noun_phrase(N), verb_phrase(V).`
`noun_phrase(np(D,N)) --> determiner(D), noun_phrase2(N).`
`noun_phrase(np(N)) --> noun_phrase2(N).`
`noun_phrase2(np2(A,N)) --> adjective(A), noun_phrase2(N).`
`noun_phrase2(np2(N)) --> noun(N).`
`verb_phrase(vp(V)) --> verb(V).`
`verb_phrase(vp(V,N))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

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)))))`



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).`

Podmínky v těle pravidel

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

CFG pro vyhodnocení aritmetického výrazu:

$$\begin{array}{l} E \rightarrow T + E \mid T - E \mid T \\ T \rightarrow F * T \mid F / T \mid F \\ F \rightarrow (E) \mid f \end{array}$$

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

% 3 + 4/2 - (2*6/3 + 2) = -1

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(sing),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

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 syntaktické analýzy

- ▶ analýza **syntaxe** je **nutná** pro analýzu **významu**
- ▶ většina teorií analýzy významu využívá **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

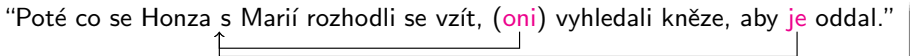
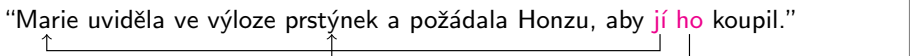
- ▶ víceznačnost
- ▶ anaforické výrazy
- ▶ indexické výrazy
- ▶ nejasnost
- ▶ nekompozicionalita
- ▶ struktura promluvy
- ▶ metonymie
- ▶ metafory

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 nebo **mimo** promluvu
- “**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 **Shakespearu**.”
 “**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

“**aligatóří boty**,” “**basketbalové boty**,” “**dětské boty**”
 “**pata sloupu**”
 “**červená kniha**,” “**červené pero**”
 “**bílý trpaslík**”
 “**dřevěný pes**,” “**umělá tráva**”
 “**velká molekula**”

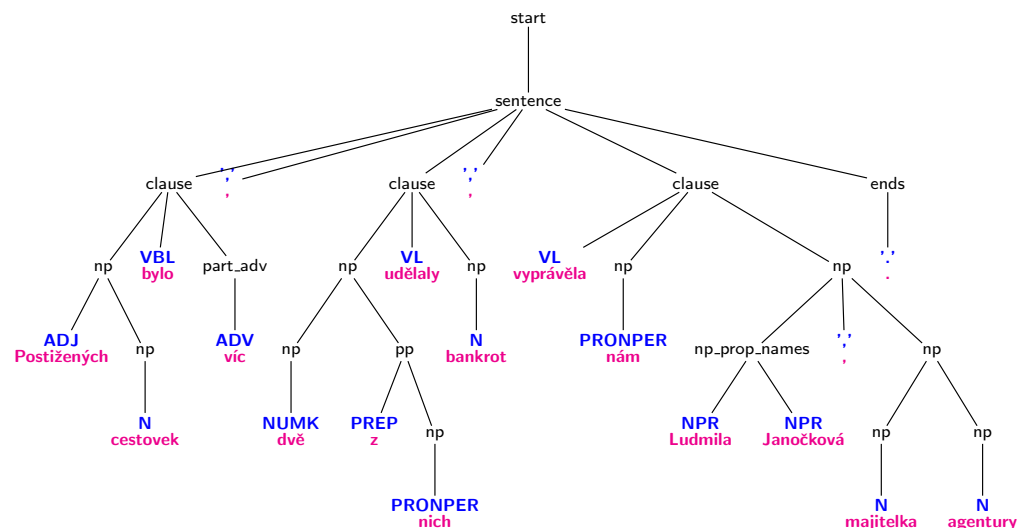
Reálná syntaktická analýza přirozeného jazyka

- ▶ velice **rozsáhlé gramatiky** (desítky až stovky tisíc pravidel)
- ▶ **silná víceznačnost** – někdy až obrovské množství (>milióny) 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*), běží v $O(n^3)$, tisíce slov/sekundu

Příklad stromu analýzy v systému synt



Příklad logické analýzy v systému synt

Když je pořádná zima s množstvím sněhu, ani velký nával návštěvníků přírodě příliš nevadí.

$$\lambda_{w_1} \lambda_{t_2} \left[\text{když_ani}_{w_1 t_2}, \right. \\ \lambda_{w_3} \lambda_{t_4} (\exists i_5) \left(\left[\text{pořádný}_{w_3 t_4}, i_5 \right] \wedge \left[\text{zima}_{w_3 t_4}, i_5 \right] \wedge \right. \\ \left. \left[\left[s_{w_3 t_4}, \left[\text{Of}, \text{množství}, \text{sníh} \right]_{w_3 t_4}, i_5 \right] \right] \right), \\ \lambda_{w_6} \lambda_{t_7} \left[\text{Not}, \left[\text{True}_{w_6 t_7}, \lambda_{w_8} \lambda_{t_9} (\exists x_{10}) (\exists i_{11}) (\exists i_{12}) \left(\right. \right. \right. \\ \left. \left[\text{Does}_{w_8 t_9}, i_{12}, \left[\text{Imp}_{w_8}, x_{10} \right] \right] \wedge \left[\text{příroda}_{w_8 t_9}, i_{11} \right] \wedge \right. \\ \left. x_{10} \subset \left[\text{vadit}, i_{11} \right]_{w_8} \wedge \left[\text{příliš}, x_{10} \right] \wedge \right. \\ \left. \left. \left. \left[\left[\text{velký}, \left[\text{Of}, \text{nával}, \text{návštěvník} \right]_{w_8 t_9}, i_{12} \right] \right] \right) \right] \right] \right] \dots \mathcal{O}_{T\omega}$$

PA026 – Projekt z umělé inteligence

- ▶ navazuje na předmět *PB016 Úvod do umělé inteligence*
- ▶ volba programovacího jazyka ovšem není nijak omezena
- ▶ samostatná volba tématu v rozsahu ≥ 1 semestru
- ▶ předmět probíhá jako konzultace
- ▶ zajímavé výsledky (<http://nlp.fi.muni.cz/uiprojekt/>)
 - projekt [elnet](#) – > 5 let spolupráce na grantových projektech simulace elektrorozvodných sítí
 - projekt [plagiaty_z_webu](#) – reálné a funkční vyhledávání shod s dokumenty na celém webu
 - projekt [robot_johnny_5](#) – sestavení a “oživení” robota – mobilního počítače

