

Sémantika a intenzionální sémantika

Aleš Horák

E-mail: hales@fi.muni.cz

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

Obsah:

- ▶ Sémantika
- ▶ Intenzionální sémantika

Sémantika

studium významu – rozdílné, i když překrývající se přístupy různých vědeckých disciplín:

- ▶ **filosofie** – Jak je možné, že něco vůbec něco znamená?
Jaký typ relace musí být mezi X a Y, aby X znamenalo Y? (filosofie jazyka)
- ▶ **psychologie** – psycholingvistika – experimentální studie, jak jsou významy reprezentovány v mysli a jaké mechanismy ovlivňují při kódování a dekódování zpráv (délka odezvy u konkrét a abstrakt se liší)
- ▶ **neurologie** – jak jsou psychologické stavy a procesy *implementovány* na úrovni neuronů v mozku

Princip kompozicionality

Význam složeného tvrzení je funkcí významu jednotlivých komponent.

(je určován, je odhadnutelný, každá složka hraje význam?)

propojuje syntax (určuje funkci) se **sémantikou** (dodává významy komponent a získává význam celku)

nekompozicionalita: idiomy, ustrnulé metafory, kolokace, klišé

Listém je jazykový výraz, jehož význam není určen významy jeho částí (pokud existují), a který si tedy uživatel jazyka musí zapamatovat jako kombinaci formy a významu.

Význam v jazyce

Rozdělení studia významu v jazyce:

- ▶ lexikální sémantika
- ▶ gramatická sémantika – větné fráze, slovtvorba
- ▶ logická sémantika – výroková, predikátová a vyšší logiky
- ▶ lingvistická pragmatika

entail = znamenat, vyplývat; nutnost a očekávanost

1. X přestal zpívat ? \rightarrow ? X nepokračoval ve zpěvu
2. X je kočka ? \rightarrow ? X je zvíře
3. X je v jiném stavu ? \rightarrow ? X je žena
4. X je fyzikální objekt ? \rightarrow ? X má hmotnost
5. X je čtyřnožec ? \rightarrow ? X má čtyři nohy
6. X je žena Y ? \rightarrow ? X není dcera Y

Textové vyplývání

Textové vyplývání = po přečtení *t* lidé usoudí, že nejspíš platí *h*
 (*Textual Entailment, Natural Language Inference, NLI*)

soutěž **Recognizing Textual Entailment**, od roku 2004

- ▶ úkol – dostaneme dva úseky textu a musíme (strojově) rozhodnout, jestli význam hypotézy vyplývá (je odvoditelný) z textu

- ▶ `<pair id="59" value="FALSE" task="IR">`

```
<t>Two Turkish engineers and an Afghan translator kidnapped
  in December were freed Friday.</t>
```

```
<h>translator kidnapped in Iraq</h>
```

```
</pair>
```

- ▶ `<pair id="64" value="TRUE" task="IR">`

```
<t>The wait time for a green card has risen from 21 months
  to 33 months in those same regions.</t>
```

```
<h>It takes longer to get green card.</h>
```

```
</pair>
```

- ▶ v současnosti úloha předtrénování **neurálních jazykových modelů** – *Next sentence prediction* (BERT), *Sentence order prediction* (ALBERT)

RTE výzvy – výsledky

soutěže **RTE Challenge**:

- ▶ nejlepší úspěšnost 70–80 %, lepší na krátkých textech
- ▶ techniky založené na **sumarizaci** a **extrakci informací**
- ▶ vstupy a (některé) výstupy jsou k dispozici na **Textual Entailment Resource Pool** (na aclweb.org):
 - datové sady
 - jazykové zdroje využité v nástrojích
 - nástroje pro **syntaktickou analýzu**, **rozpoznávání entit**, **určování podobnosti**, ...

Výzva Winograd Schema

Winograd Schema Challenge (WSC)

I. **The trophy** would not fit in **the brown suitcase** because **it** was too big (small). What was too big (small)?

Answer 0: the trophy

Answer 1: the suitcase

II. **The town councilors** refused to give **the demonstrators** a permit because **they** feared (advocated) violence. Who feared (advocated) violence?

Answer 0: the town councilors

Answer 1: the angry demonstrators

- ▶ vyhlásila firma **Nuance**, konala se 2016 a 2018
- ▶ pojmenovaná po **Terrym Winogradovi**, autorovi dialogového systému **SHRDLU** v roce 1968
- ▶ řeší problém **rozpoznávání anafor**
- ▶ úspěšnost 2016 32–58 % na 60 otázkách (náhodné odpovědi = 44 %)
- ▶ úspěšnost 2020 88–90 % pomocí velkých transformer modelů
- ▶ součást **General Language Understanding Evaluation (GLUE)** testovací sady

Praktické výstupy sémantické analýzy – SemEval

SemEval – série soutěží a workshopů se zaměřením na **praktické výstupy** analýzy významu textu

- ▶ od roku 1998 (**SenseEval**) po současnost <https://semeval.github.io/>
- ▶ vybrané **sdílené úlohy** (*shared tasks*) včetně anotovaného **zlatého standardu** (*gold standard*)
- ▶ množství témat – **analýza sentimentu**, **časové údaje**, **textové vyplývání**, **detekce afektivních výrazů v Twitter zprávách**, **porozumění textu**, **slovníkový význam**, ...

Problémy při analýze přirozeného jazyka


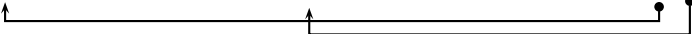
- ▶ víceznačnost
- ▶ anaforické výrazy
- ▶ indexické výrazy
- ▶ nejasnost
- ▶ nekompozicionalita
- ▶ struktura promluvy
- ▶ metonymie
- ▶ metafory

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 a **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 **Shakespeara**.”
- ▶ “**Chrysler** oznámil rekordní zisk.”
- ▶ “Ten **pstruh na másle** u stolu 3 chce další pivo.”

Nekompozicionalita

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

Logická analýza přirozeného jazyka

logická analýza PJ – analýza **významu** výrazů (vět) PJ

přirozený **jazyk** = nástroj *pojmového* uchopení reality

pojem – kritéria/procedury umožňující identifikovat různé konkrétní a abstraktní objekty

např. “**planeta**” – třída nebeských těles s určitými charakteristikami – obíhá po oběžné dráze kolem slunce, není zdrojem světla, ...

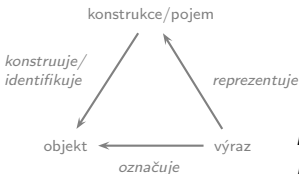
- ▶ **pojem** \neq **výraz** – např. výrazy v různých jazycích často reprezentují stejný pojem (pojem(“prvočíslo”) \equiv pojem(“prime number”))
- ▶ **pojem** \neq **představa** – představa je *subjektivní*, pojem je *objektivní*
- ▶ pojmy mohou identifikovat různé objekty:
 - jedno individuum – **individuální pojmy** (např. Petr, Pegas, prezident ČR)
 - třídu objektů – **vlastnost** (např. červený, šelma, hora)
 - n -člennou relaci – **vztah** (např. otec (někoho), křivdit (někdo někomu))
 - pravdivostní hodnotu – **propozice** (např. v Brně prší)
 - funkcionální přiřazení – **empirické funkce** (např. rychlost)
 - číslo – (fyzikální) **veličiny** (např. rychlost světla)

Vztah pojmu a výrazu

ve zjednodušené podobě: pojem odpovídá **logické konstrukci**

složený z pojmů 'autor něčeho' a 'Hamlet'

$\lambda w \lambda t [\mathbf{Author_of}_{wt} \mathbf{Hamlet}]$



*konstruuje/
identifikuje*

reprezentuje

AH

"autor Hamleta"

označuje

funkce ukazující v našem světě
na Williama Shakespeara

Omezenost predikátové logiky 1. řádu

dva omezující rysy:

- ▶ nedostatečná expresivita
- ▶ extenzionalismus

Expresivita: vyjadřovací síla jazyka

“Je-li barva stropu pokoje č. 3 uklidňující, je pokoj č. 3 vhodný pro pacienta X a není vhodný pro pacienta Y.”

analýza ve **výrokové logice**:

$P \Rightarrow (Q \wedge \neg R)$	P	“Barva stropu pokoje č. 3 je uklidňující.”
	Q	“Pokoj č. 3 je vhodný pro pacienta X.”
	R	“Pokoj č. 3 je vhodný pro pacienta Y.”

analýza v **PL1**:

$U(B) \Rightarrow (V(P, X) \wedge \neg V(P, Y))$	U	třída uklidňujících objektů
	B	individuum ‘barva stropu pokoje č. 3’
	V	relace mezi individui ‘být vhodný pro’
	P	individuum ‘pokoj č. 3’
	X, Y	individua ‘pacient X’ a ‘pacient Y’

Nedostatečná expresivita PL1 – pokrač.

Červená barva je krásnější než hnědá barva. *Kostka je červená.*

analýza v PL1:

$Kr(\check{C}_1, H)$

$\check{C}_2(Ko)$

\check{C}_1 individuum 'červená barva'

\check{C}_2 vlastnost individuí 'být červený' (třída červených objektů)

nelze vyjádřit $\check{C}_1 \equiv \check{C}_2$

Extenzionalismus PL1

Varšava

hlavní město Polska

- Varšava – **jméno individua**, jasně identifikovatelné a odlišitelné
- hlavní město Polska – **individuová role**, momentálně identifikuje Varšavu, ale dříve to byl i Krakov

'**hlavní město Polska**':

- ▶ závisí na světě a čase
- ▶ pochopení významu, ale není vázané na znalost obsahu – tj. **význam** na světě a čase **nezávisí**

číslo X je větší než číslo Y

budova X je větší než budova Y

- matematické větší než – **relace** dvojic čísel, pevně daná
- empirické větší než – **vztah** dvou individuí, který se může měnit v čase (otec a syn)

Extenzionalismus PL1 – pokrač.

ano

V Brně prší

- ano* – pravdivostní hodnota *true*
- V Brně prší* – **propozice** – označuje pravdivostní hodnotu, která se mění (alespoň) v čase

i když hodnota někdy závisí na světě a čase, samotný význam na nich nezávisí

Extenze a intenze

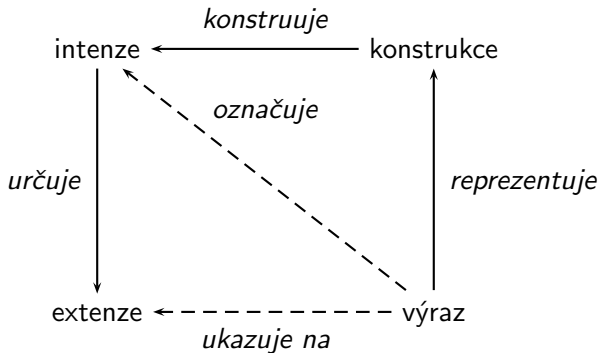
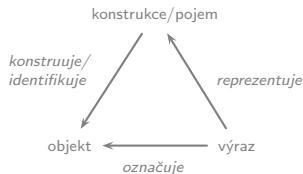
Definujeme:

- ▶ **intenze** – objekty typu funkcí, jejichž hodnoty závisí na světě a čase
- ▶ **extenze** – ostatní objekty (na světě a čase nezávislé)

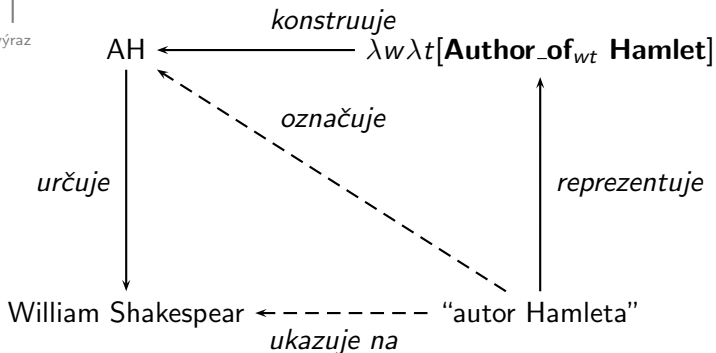
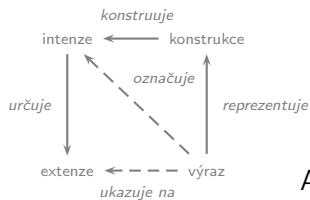
časté extenze a intenze:

<i>extenze</i>	<i>intenze</i>
individua	individuové role
třídy	vlastnosti
relace	vztahy
pravdivostní hodnoty	propozice
funkce	empirické funkce
čísla	veličiny

Rozšířený vztah výrazu a významu u intenzí



Rozšířený vztah výrazu a významu u intenzí



Transparentní intenzionální logika

- ▶ *Transparent Intensional Logic*, TIL
- ▶ **logický systém** speciálně navržený pro zachycení **významu výrazů PJ**
- ▶ autor **Pavel Tichý**: *The Foundations of Frege's Logic*, de Gruyter, Berlin, New York, 1988.
- ▶ obdobná teorie – *Montagueho intenzionální logika* – Tichý ukazuje její nedostatky
- ▶ Tichý vychází z myšlenek – *Gottlob Frege* (1848–1925, logik) a *Alonzo Church* (1903–1995, teorie typů)
- ▶ vlastnosti:
 - rozvětvená **typová hierarchie** (s typy **vyšších řádů**)
 - **temporální**
 - **intenzionální** (intenze \times extenze)
- ▶ **transparentost**:
 1. nositel významu (**konstrukce**) není prvek formálního aparátu, tento aparát pouze *studuje* konstrukce
 2. zachycení intenzionality je přesně popsáno z matematického hlediska

Typy v TILu

typ objektu:

- ▶ základní typy – **typová báze** = $\{o, \iota, \tau, \omega\}$
- ▶ funkcionální typy – **funkce** nad typovou bází
 např. $\iota, ((\iota\tau)\omega), (o\iota), (((o\iota)\tau)\omega), ((o\tau)\omega), \dots$
 $((\alpha\tau)\omega) \dots$ závislost na světě a čase, vyjadřuje **intenze** – zápis $\alpha_{\tau\omega}$
- ▶ typy **vyšších řádů** – obsahují i třídy konstrukcí řádu n – $*_n$

Základní typy TILu

umožňují přiřadit typ objektům z **intenzionální báze** jazyka – třída **základních vlastností** (barvy, rozměry, postoje, ...) popisujících stav světa

- ▶ **o** (omikron, o) ... **pravdivostní hodnoty** Pravda (*true*, T) a Nepravda (*false*, F)
přesně odpovídají běžným logikám, typy **logických operátorů** –
(oo), (ooo)
- ▶ **ι** (jota) ... třída **individuí**
individua ovšem ne jako kompletní objekty, ale jako **numerická identifikace** nestrukturované entity
- ▶ **τ** (tau) ... třída **časových okamžiků** (jako časového kontinua)
zachycení závislosti na čase; současně třída **reálných čísel**
- ▶ **ω** (omega) ... třída **možných světů**
zachycení empirické závislosti na stavu světa

Možné světy

termín **možný svět** – Gottfried Wilhelm von Leibniz (1646–1716, filozof a matematik)

požadavky na definici “možného světa:”

- ▶ soubor **myslitelných faktů**
- ▶ je **konzistentní** a **maximální** ze všech takových souborů
- ▶ je **objektivní** (nezávislý na individuálním názoru)

mezi možnými světy existuje právě jeden **aktuální** svět

jeho znalost \equiv vševědoucnost

Možné světy v TILu

možný svět v TILu = *rozhodovací systém*, pro \forall prvek intenzionální báze obsahuje **konzistentní přiřazení** hodnot

příklad – realita s 2 objekty a 2 vlastnostmi
(9 možných světů):



	být tlustý			
být hubený	{ <i>Laurel</i> , <i>Hardy</i> }	{ <i>Laurel</i> }	{ <i>Hardy</i> }	\emptyset
{ <i>Laurel</i> , <i>Hardy</i> }	×	×	×	w_1
{ <i>Laurel</i> }	×	×	w_2	w_3
{ <i>Hardy</i> }	×	w_4	×	w_5
\emptyset	w_6	w_7	w_8	w_9

Nejčastější typy

<i>extenze</i>			<i>intenze</i>		
individua	...	ι	individuové role	...	$\iota_{\mathcal{T}\omega}$
třídy	...	$(o\iota)$	vlastnosti	...	$(o\iota)_{\mathcal{T}\omega}$
relace	...	$(o\alpha\beta)$	vztahy	...	$(o\alpha\beta)_{\mathcal{T}\omega}$
pravdivostní hodnoty	...	o	propozice	...	$o_{\mathcal{T}\omega}, \pi$
funkce	...	$(\alpha\beta)$	empirické funkce	...	$(\alpha\beta)_{\mathcal{T}\omega}$
čísla	...	τ	veličiny	...	$\tau_{\mathcal{T}\omega}$

Konstrukce

konstrukce v TILu:

- ▶ **proměnná** typu α , v závislosti na **valuaci** konstruuje α -objekt
 $x \dots t$
- ▶ **trivializace** objektu **A** typu α , konstruuje právě objekt **A**
 ${}^0\mathbf{A} \dots \alpha \quad \mathbf{A} \dots \alpha$
- ▶ **aplikace** konstrukce $X \dots (\alpha\beta_1 \dots \beta_n)$ na konstrukce Y_1, \dots, Y_n typů β_1, \dots, β_n , konstruuje objekt typu α
 $[XY_1 \dots Y_n] \dots \alpha$
- ▶ **abstrakce** konstrukce $Y \dots \alpha$ na proměnných x_1, \dots, x_n typů β_1, \dots, β_n , konstruuje objekt/funkci typu $(\alpha\beta_1 \dots \beta_n)$
 $\lambda x_1 \dots x_n [Y] \dots (\alpha\beta_1 \dots \beta_n)$

Příklady analýzy podstatných jmen

pes, člověk

 $x \dots l: \mathbf{pes}_{wt}x,$ $\mathit{pes}/(ol)_{\tau\omega}$

prezident

 $\mathit{prezident}/l_{\tau\omega}$

volitelnost

 $\mathit{volitelnost}/(ol_{\tau\omega})_{\tau\omega}$

výška

 $\mathit{výška}/(\tau l)_{\tau\omega}$

výrok, tvrzení

 $p \dots *_n: \mathbf{výrok}_{wt}p,$ $\mathit{výrok}/(o*_n)_{\tau\omega}$ válka, smích,
zvonění $\mathit{válka}/(o(o\pi))_{\omega}$

leden, podzim

 $\mathit{leden}/(o(o\tau))$ individuum z dané třídy
individuí

individuová role

vlastnost individuové role

empirická funkce

konstrukce propozice z
dané třídy konstrukcí
propozictřída epizod – aktivita,
která koresponduje se slo-
vesem

třída časových

okamžiků — časové

intervaly

Příklady přínosu TILu

▶ propoziční postoje

Petr říká, že Tom věří, že Země je kulatá.

$$\lambda w \lambda t \left[\text{ř} \text{í} \text{k} \text{á}_{wt} \text{Petr}^0 \left[\lambda w \lambda t \left[\text{v} \text{ě} \text{ř} \text{í}_{wt} \text{Tom}^0 \left[\lambda w \lambda t \left[\text{k} \text{u} \text{l} \text{a} \text{t} \text{á}_{wt} \text{Zem} \text{ě} \right] \right] \right] \right] \right]$$

▶ existence neexistujícího

Pes existuje. Jednorožec neexistuje.

$$\begin{aligned} \text{v PL1:} \quad & \exists x(x = \text{pes}) \quad \neg \exists x(x = \text{jednorožec}) \\ & (\text{jednorožec} = \text{jednorožec}) \Rightarrow (\exists x(x = \text{jednorožec})) \end{aligned}$$

v TILu:

$$(*) \quad \lambda w \lambda t \left[{}^0 \neg [E_{x_{wt}} \text{jednorožec}] \right], \quad E_x \stackrel{df}{=} \lambda w \lambda t \lambda p \left[{}^0 \sum_l [\lambda x [p_{wt} x]] \right]$$

$$E_x \dots (o(o_l)_{\tau\omega})_{\tau\omega}$$

(*) ... "třída všech individuí s vlastností 'být jednorožcem' je v daném světě a čase prázdná."

▶ intenzionalita, vlastnosti vlastností, analýza epizod, analýza gramatického času, ...