

Výpočetní sémantika a základní sémantické struktury

Aleš Horák

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

Obsah:

- ▶ Významy slov a významové vztahy
- ▶ Slovníky a specializované lexikony
- ▶ Výpočetní sémantika

Významy slov, polysemie

Slovo:

- ▶ **slovní tvar** (*wordform*) – slovo zapsané v textu
- ▶ **lemma/základní tvar** – slovo v indexové/citační podobě (nominativ, singulár, ...)
váže se na lexikální význam
- ▶ lemma i slovní tvar může mít víc **významů** (*word sense*):
(pozor na rozdíl *význam jako meaning* a *význam jako sense*)
... musel rozhodčí napomínat za vzteklé mlácení **raketou** ...
... cvičně odpálila balistickou **raketu** středního doletu, která je ...
... vystoupení v latinsko-amerických **tancích** na Vašich kulturních akcích ...
Při nácvičku brodění totiž v **tancích** navlhly kabely a vojáci je ...

Významy slov, polysemie

Slovo, které má více významů se označuje jako:

- ▶ **polysémní** – významy slova spolu **něčím souvisí**

... mnozí z nich měli v **očích** slzy ...
 ... zase šlápnutí na kuří **oko** voličů ...
 ... osmažená vejce na volská **oka** pokrájená ...
 ... Technologie Jestřábí **oko** spolehlivě určí, zda byl míček dobrý...

- ▶ **homonymní** – píší se stejně, ale jejich **významy spolu nesouvisí** (může být *homografní* nebo *homofonní* – **bít/být**)

... azuro na obloze, zelená **travička** pod nohama...
 Jednou z nejslavnějších profesionálních **traviček** se stala Locusta
 ... zajišťujeme kompletní zákaznický **servis** ...
 ... Broušený **servis**, skutečný domácí postrach, který se dědí ...
 ... reklamace zboží v autorizovaném **servisu** ...
 ... Hingisová sice hned prohrála **servis**, ale z 0:1 otočila ...

Významy slov, polysemie

Některé typy **polysemie** jsou **systematické**:

- ▶ **budova** ↔ **organizace** ↔ **osoby**

... **Nemocnice** byla **postavena** v listopadu 1873 ...
 ... **Nemocnice** údajně **dluží** členům asociace 1,5 miliardy ...
 ... Prachatická **nemocnice ošetřila** také 19 lehce zraněných ...

- ▶ viz **metonymie** – **autor** ↔ **dílo**, **strom** ↔ **ovoce**

korigovali text Hovorů proto, že tu bylo více **Čapka** a méně autentického Masaryka.
 o tom hovořil ve své knize už Karel **Čapek** ...
 ... u hrázek byla tehdy taková silná **hruška** ...
 ... tam, kde je na **hrušce** stopka, ...

Zeugma test na polysemii:

- ▶ *Kdo rád **stráví silvestrovskou noc** při dunění petard?*
- ▶ *Pak se však Mach pokusil **strávit příliš velké sousto**.*
- ▶ → *Kdo rád **stráví silvestrovskou noc** a **příliš velké sousto** při dunění petard?*

Synonyma

Dvě slova jsou **synonyma**, když jsou **vzájemně zaměnitelná** v kontextech:

- ▶ notebook ↔ laptop
- ▶ statečný ↔ odvážný
- ▶ chlapec ↔ hoch

většina synonym ale **není zaměnitelná** ve všech kontextech:

- ▶ *Samotný prožitek doteku pak má své kouzlo.*
Samotný prožitek doteku pak má svůj půvab.
- ▶ *Učení nových útočných i obranných pohybů a kouzel.*
Učení nových útočných i obranných pohybů a půvabů.

Synonymie je tedy vazba mezi **významy slov**, ne mezi slovy

Antonyma

totéž platí pro **antonymii** – slova **opačného významu** nebo **stupně vlastnosti**:

- ▶ tmavý × světlý
- ▶ rychle × pomalu
- ▶ dovnitř × ven

kontextově jsou antonyma velice podobná synonymům!

tmavý/světlý

czes2 freqs = 8,960 | 8,127

tmavý 6.0 4.0 2.0 0 -2.0 -4.0 -6.0 světlý

subj	byt	141	106	8.20	7.40
papír	5	0	1.5	--	
obrázek	5	0	1.4	--	
obraz	6	0	1.4	--	
noc	4	0	1.3	--	
barva	4	9	0.9	2.1	

modifies	7,316	6,019	5.60	5.60
brýle	205	0	8.8	--
pečivo	51	0	7.3	--
mrak	42	4	6.8	3.5
hnědák	54	7	7.8	5.1
oblek	153	23	8.6	6.0
chléb	63	11	7.2	4.8
plet	504	123	10.0	8.1
kalhoty	66	19	7.2	5.6
bunda	39	11	6.7	5.1
skvrna	129	38	8.2	6.6
pruh	63	28	6.8	5.7
barva	430	301	7.5	7.1
vlas	325	226	8.5	8.0
chloupek	27	28	6.6	6.9
odstín	150	180	8.3	8.7
pivo	88	138	6.4	7.1
dřevo	41	73	5.8	6.7
ležák	32	68	7.0	8.4
jiška	17	58	6.2	8.2
okamžik	0	118	--	6.7
stezka	0	105	--	7.3
Karolína	0	54	--	7.8
výjimka	0	247	--	8.0
výška	0	343	--	8.1
zřítek	0	239	--	9.7

Hyperonyma a hyponyma

Význam slova w_i je **hyperonymum** (**hyponymum**) významu slova u_j , pokud w_i je **obecnější** (**specifičtější**):

- ▶ **kobra** je hyponymum slova **had**
- ▶ **stroj** je hyperonymum **bagr**

jiné označení:

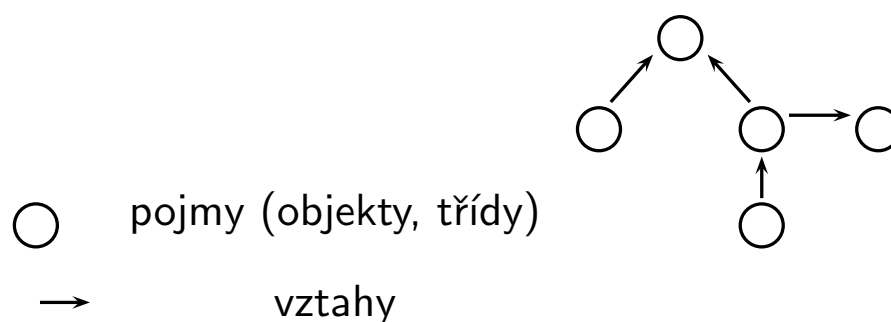
- ▶ slova **nadřazená/podřazená** (*superordinate/subordinate*)
- ▶ z logického pohledu u_j je **hyponymum** $w_i \Leftrightarrow$
 - **extenzionálně** – $class(u_j) \subset class(w_i)$
 - **vyplývání** – $property(x, u_j) \Rightarrow property(x, w_i)$
- ▶ hypero/hyponymie je obvykle **tranzitivní**
 $U_j \text{ hyponymum } W_i \wedge W_i \text{ hyponymum } V_k \Rightarrow U_j \text{ hyponymum } V_k$

u sloves podobná relace **troponymie** – **chodit/pochodovat**

Sémantické sítě

sémantické sítě – reprezentace faktových znalostí (pojmy + vztahy)

- ▶ vznikly kolem roku 1960 pro reprezentaci významu anglických slov
- ▶ znalosti jsou uloženy ve formě grafu

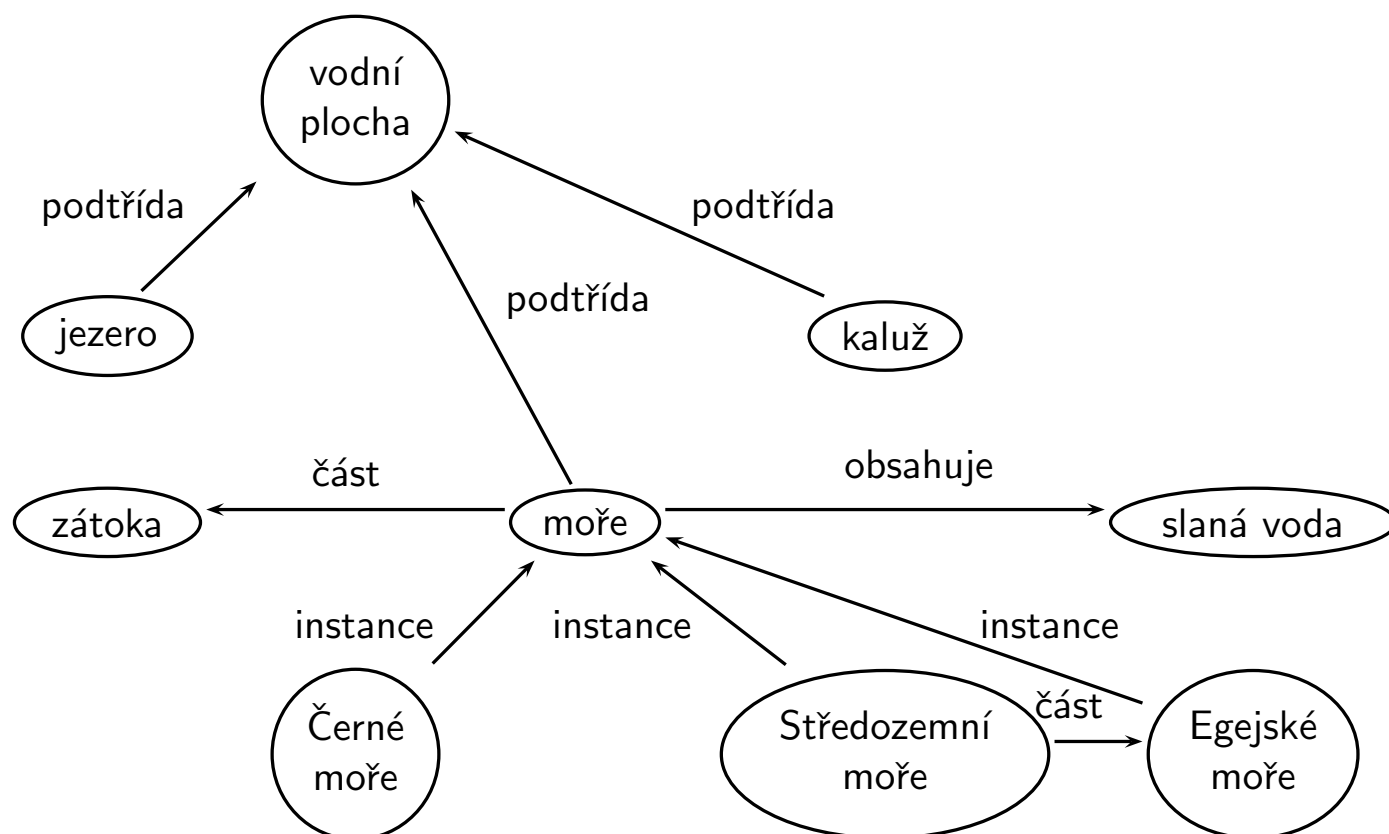


- ▶ **nejdůležitější vztahy:**

- **podtřída** (*subclass, is-a*) – vztah mezi třídami
- **instance** – vztah mezi konkrétním objektem a jeho rodičovskou třídou

jiné vztahy – část (*has-part*), barva, ...

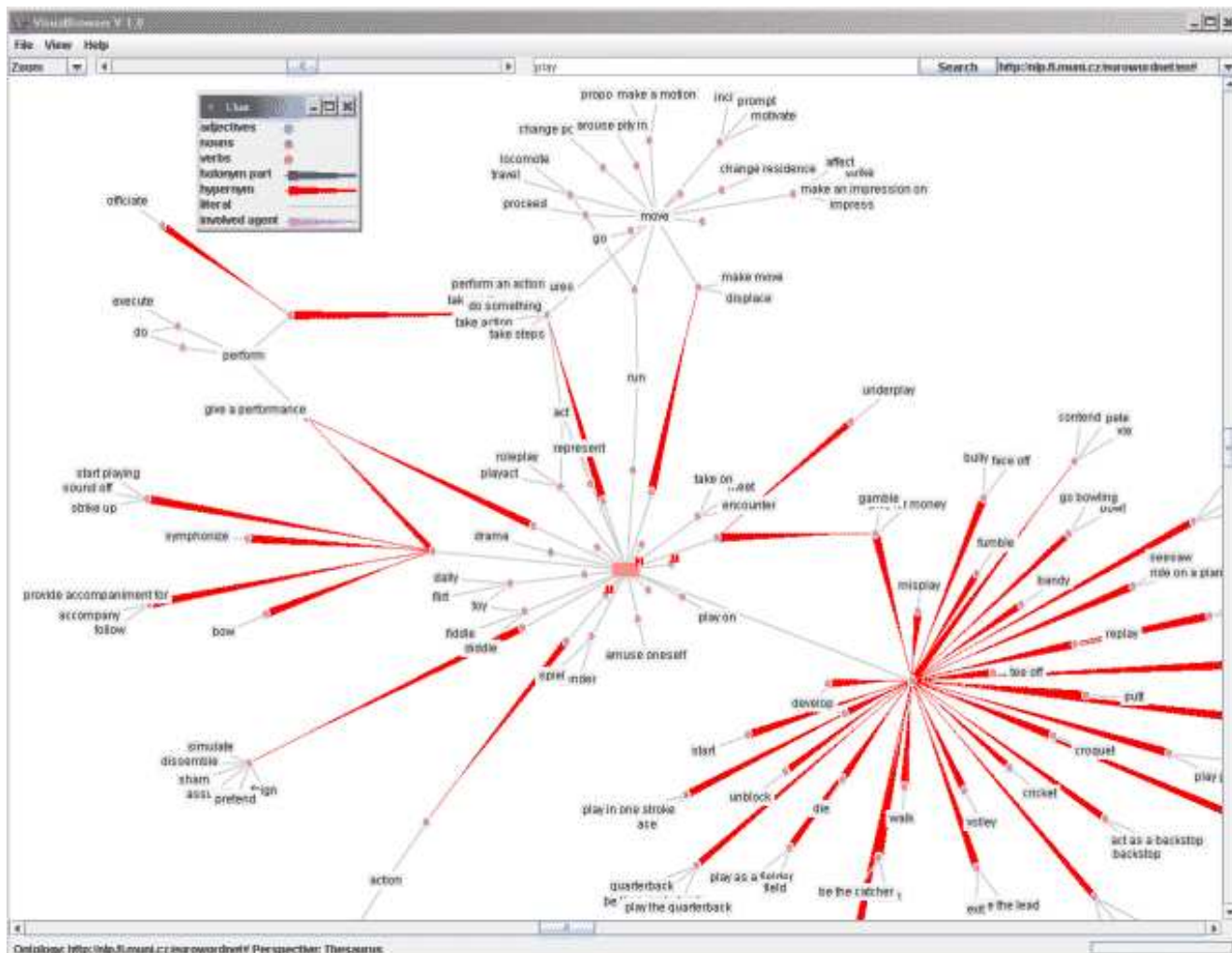
Sémantické sítě – příklad



Aplikace sémantických sítí

(Princeton) **WordNet** – <http://wordnet.princeton.edu/>

- ▶ sématická síť 140.000 (anglických) pojmů, zachycuje:
 - synonyma, antonyma
 - hyperonyma, hyponyma
 - odvozenost a další jazykové vztahy
- ▶ jednotka **synset** – synonymická řada zachycuje **slabá synonyma** (*near-synonyms*)
- ▶ tvoří se **národní wordnety** (navázané na anglický WN)
 - český wordnet** – cca 30.000 pojmů
- ▶ nástroj na editaci národních wordnetů – **DEBVisDic**, vyvinutý na FI MU
- ▶ VisualBrowser – <http://nlp.fi.muni.cz/projekty/visualbrowser/> nástroj na vizualizaci (sémantických) sítí, vznikl jako DP na FI MU



DEBVisDic

User Settings Tools Windows Help

English Wordnet

dog:

[n] andiron:1, firedog:1, dog:7, dog-

[n] frump:1, dog:2

[n] cad:1, bounder:1, blackguard:1, dog:4, houn-

[n] dog:1, domestic dog:1, Canis familiaris:1

[n] frank:2

Greek Wordnet

σοῦλο ἰκὸ

Search

παναλαμβάνόμενο ζεχνός:0, περ σοῦλο ἰκὸ

[n] περ σοῦλο ἰκὸ:1

[n] περ σοῦλο ἰκὸ:0

Czech Wordnet

pes

Search

Preview Tree RevTree Edit XML

[n] zakopaný pes:1

[n] policejní pes:1

[n] hlíďač:4, hlíďací pes:1

[n] pes:1

[n] slepečný pes:1, vodící pes:1

Preview Tree RevTree Edit XML

number of entries: 3

Russian Wordnet

журнал

Search

[n] журнал:1

Preview Tree RevTree Edit XML

POS: n ID: RUS-1234560515

Synonyms: книга:1

Show in Czech Wordnet

Take key from Czech Wordnet

AutoLookUp in

Copy entry to Czech Wordnet

Import IDs from file

театр?

--> [has_hypernym] печатное издание:1

Number of entries: 1

Slovníky a specializované lexikony

Slovníky typicky obsahují:

- ▶ specifikace **formy**:
 - grafická podoba – alternativy, dělení, velká počáteční písmena
 - zvuková podoba – výslovnost a její alternativy, slabiky, přízvuk, výška
- ▶ **gramatické** (morfo-syntaktické) **informace** – slovní druh a příslušné gramatické kategorie, morfologický vzor?
- ▶ specifikace **významu** – hierarchie

slovník uvádí významy listémů, **encyklopedie** informace o jejich denotátech

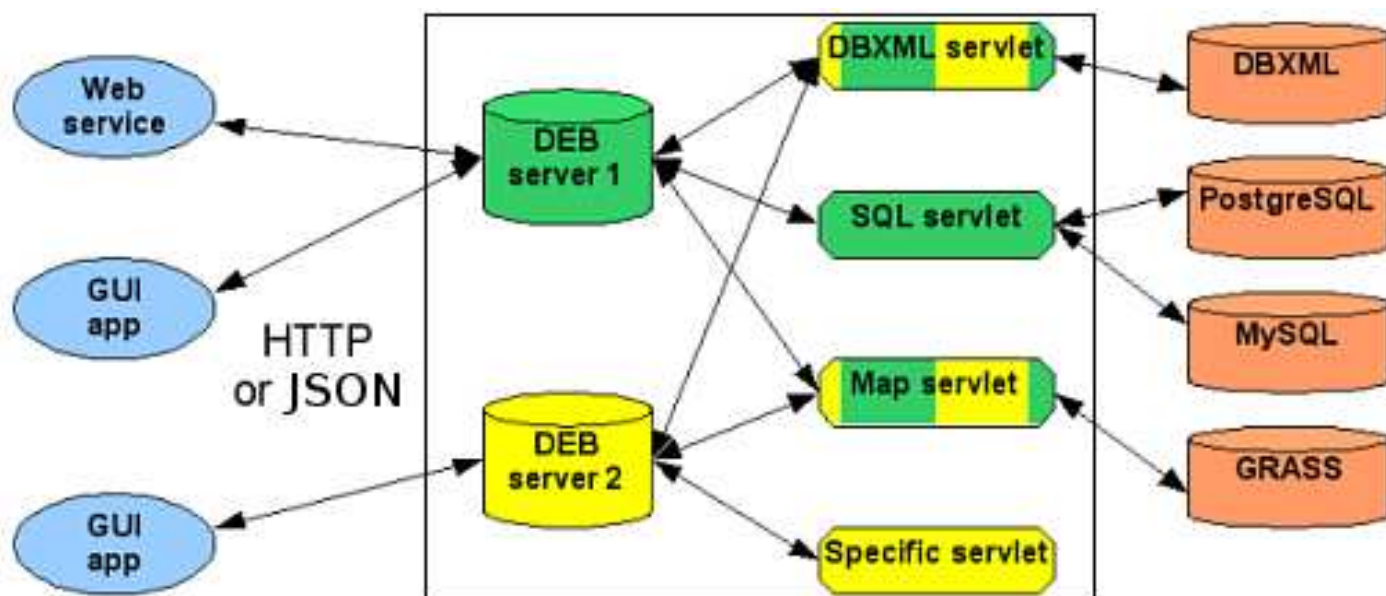
Slovník spisovné češtiny: **tetřev**, **-a m** velký lesní pták z příbuzenstva kura domácího [x] *tokat jako tetřev*, expr. být slepě zamilován; **tetřeví** příd. *tetřeví tokání, tetřeví slepice*.

Encyklopedie Diderot: **tetřev**, Tetrao, rod hrabavých ptáků, kteří obývají pásmo jehličnatých lesů severní polokoule. V ČR žije dnes již vzácně tetřev hlušec (Tetrao urogallus). Největší z lesních kurů, kohout dosahuje hmotnosti až 6 kg.

specializované lexikony a encyklopedie (znalost odborníků a rozdílné předpoklady a pohledy)

DEB – platforma pro vývoj slovníků

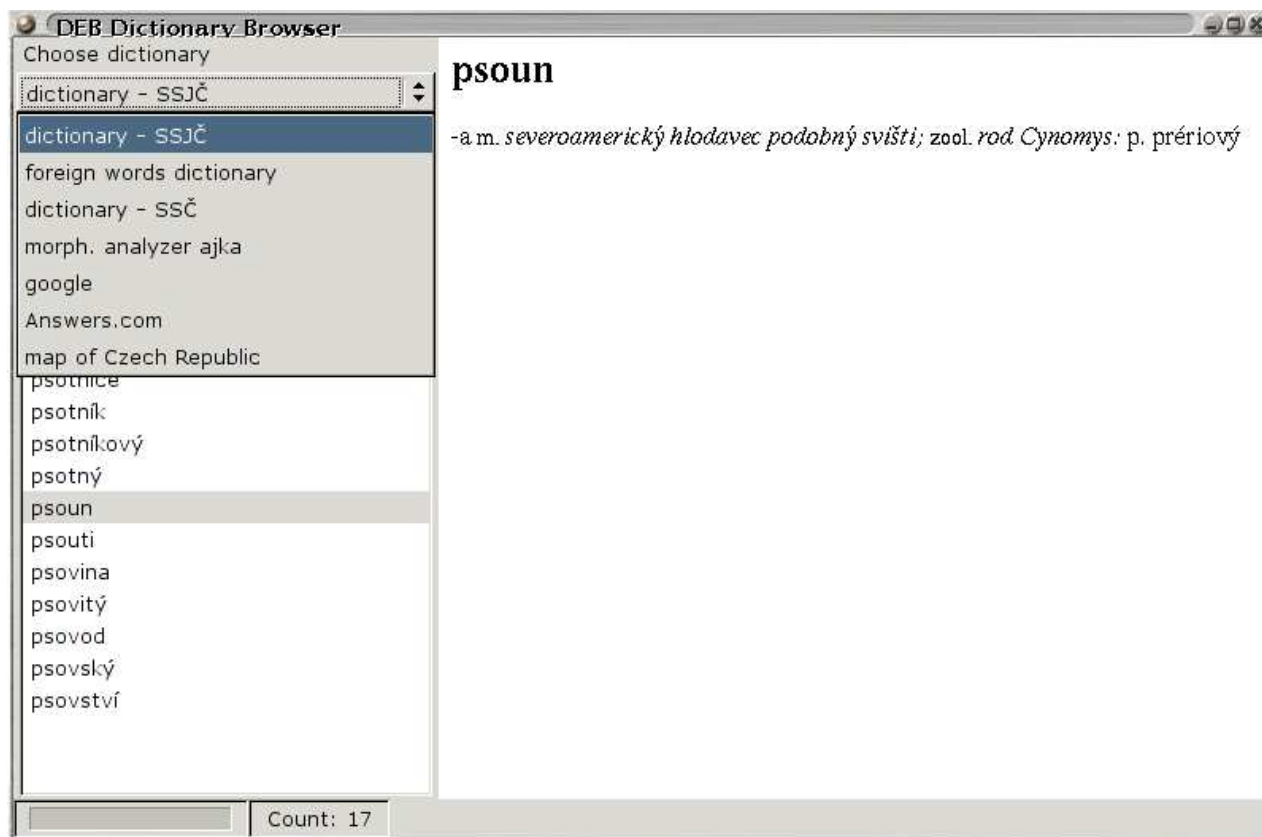
- ▶ **Dictionary Editor and Browser, DEB**
- ▶ platforma pro vývoj **systémů na psaní slovníků** (*dictionary writing systems, DWS*)
 - <http://deb.fi.muni.cz/>
 - pracuje s hesly ve formě XML struktury
- ▶ striktní **klient-server architektura**
- ▶ server
 - specializované moduly – *servlety*
 - databázové úložiště
- ▶ klient
 - jen jednoduchá funkcionalita
 - GUI i web rozhraní – postavený na *Mozilla Engine*



DEB používá komunikaci typu AJAX

DEBDict – příklad DEB klienta

- ▶ přehledné **prohledávání slovníků** s různou strukturou
- ▶ původně určený pro demo základních funkcí
- ▶ dostupný jako instalovatelné **rozšíření Firefoxu** i jako vzdálená **webová služba**
- ▶ vícejazyčné uživatelské rozhraní (angličtina, čeština, další lze snadno doplnit)
- ▶ dotazy do několika **XML slovníků s různou strukturou**, výsledky jsou zpracovány XSLT transformací
- ▶ **autentizace** – uživatelé mají různá práva přístupu ke slovníkům
- ▶ napojení na **externí služby**:
 - český morfologický analyzátor
 - externí webové služby (Google, Answers.com, Wikipedia)
 - geografický informační systém – zobrazení geografických odkazů přímo na mapě



DEB – platforma pro vývoj slovníků

- ▶ další aplikace:
 - [DEBVisDic](#) – editor wordnetů
 - [Cornetto](#) – editor lexikální databáze (University of Amsterdam)
 - [TeDi](#) – terminologický slovník
 - [FaNUK](#) – slovník anglických příjmení (University of West England, Oxford University Press)
 - ...
- ▶ použita v [22 mezinárodních projektech](#)
- ▶ DEB server v Brně využívá více než [1600 registrovaných uživatelů](#)



České valenční lexikony

specializované lexikony slovesných valencí:

- ▶ syntaktické valenční rámce **Brief** (FI MU, od 1997) cca 15,000 sloves:
lámat <v>hPTc4, hPTc4-hTc7, hPc3-hTc4

- ▶ valenční rámce v **českém wordnetu** (FI MU 2000), cca 3,000 slovesných literálů (sloveso+význam):

synset: lámat:3, dobývat:1, těžít:2

valence: kdo1*AG(person:1)=co4*SUBS(substance:1)

valence: co1*AG(institution:1)=co4*SUBS(substance:1)

- ▶ pražský lexikon **Vallex 1.0**, na začátku roku 2005 cca 1,000 sloves (teď snad až 4,000):

~ impf: lámat

+ ACT(1;obl) PAT(4;obl)

Valeční lexikon VerbaLex

- ▶ vznikl na začátku roku 2005, využívá všech **dostupných zdrojů**
- ▶ edituje se ve formulářovém editoru nebo v jednoduchém textovém formátu, který se pro další zpracování převádí do **XML**
- ▶ vlastnosti:
 - dvouúrovňové **sémantické role**
 - odkazy na hypero/hyponymickou **hierarchii** v českém **wordnetu**
 - odlišení **životnosti** a neživotnosti větných členů
 - implicitní pozice **slovesa**
 - valenční rámce se odkazují na číslované **významy sloves**
- ▶ exporthy z XML do HTML pro prohlížení a PDF pro tisk

VerbaLex v HTML

alphabet	semantic role	sel. restriction	gram. structure	verb class	phraseme	aspect
complexity	patterns	misc.		← ⊥ CS		
Alphabet • A (82) • B (183) • C (72) • Č (73) • D (523) • ě (3) • E (16) • F (33) • G (9) • H (107) • CH (50) • I (19) • J (18) • K (418) • L (139) • M (220) • N (854) • ň (2) • O (653) • P (2699) • R (690) • Ř (22) • S (556) • Š (47) • T (98)	Verbs starting with letter "k" • kabonit • kabonit se • kácet • kácet se • kadeřit • kálet • kalit • kamarádit • kamarádit se • kamuflovat • kanalizovat • kanout • kapat • kapitulovat • kárat • karikovat • kartáčovat • kasat • kastrovat • kaširovat • kašlat • katalogizovat • katapultovat • katapultovat se	kácet ₁ ^{impf} kotit ₁ ^{impf} pokácet ₁ ^{pf} skácet ₁ ^{pf} porazit ₃ ^{pf} porážet ₃ ^{impf}	1 kácet ₁ , kotit ₁ , porazit ₃ , porážet ₃ , povalit ₂ , povalovat ₂ , skácet ₁ , sklátit ₂ , složit ₆ , sklá -frame: ACT <knock:5 gunfire:2> _{i1} VERB obl PAT <person:1> _{a2} OBJ -example: rána ho <u>sklátila</u> k zemi (pf) -example: střela ho <u>srazila</u> na zem (pf)	2 kácet ₁ , kotit ₁ , pokácet ₁ , skácet ₁ ≈ -frame: AG <person:1> _{a1} VERB obl OBJ <forest:1> _{i4} -example: dřevorubci vykáceli les (pf)	3 kácet ₁ , kotit ₁ , pokácet ₁ , porazit ₃ , porážet ₃ , povalit ₂ , povalovat ₂ , skácet ₁ , sklátit ₂ , s -frame: AG <person:1> _{a1} VERB obl OBJ <tree:1> _{i4} -example: porazil strom (pf)	

Využití valencí v sémantické analýze

reprezentace **slovesného rámce**:

1. syntaktické rysy:

dávat něco_{neživ.NP}, 4.pád, bez předložky

někomu_{živ.NP}, 3.pád, bez předložky

2. sémantické rysy:

dávat Patiens Addressee

3. funkce významu:

dávat $x y \dots (o(o\pi)(o\pi))_{\omega}$, slovesný objekt

dávat / $(o(o\pi)(o\pi))_{\omega ll} \quad x \dots l \quad y \dots l : S_{wt}y, S \dots (ol)_{\tau\omega}$

překlad z valenčního výrazu do funkce významu:

typ argumentu = typ {

- ▶ jmenné skupiny
- ▶ příslovečné fráze
- ▶ vedlejší věty
- ▶ infinitivu

Problémy sémantiky s jazykovými zdroji

Problémy jazykových zdrojů:

- ▶ nejsou dostupné pro každý jazyk
- ▶ neobsahují všechna slova
- ▶ neobsahují dost kombinací slov, frází
- ▶ neobsahují všechny významy
- ▶ neobsahují všechny relace
- ▶ naopak obsahují i (velmi) málo frekventované významy/relace (jak – spojka/zvíře, s – předložka/citoslovce, tři – číslovka/sloveso)
- ▶ relace nejsou stejně strukturované pro různé slovní druhy (H/H relace moc nefunguje pro přídavná jména, slovesa)

Distribuční sémantické modely

alternativa – automatické distribuční sémantické modely

- ▶ také vektorové modely (*vector-space models*)
- ▶ slova/fráze/dokumenty nahrazujeme body v N -rozměrném vektorovém prostoru (vektory)
(kde N může být velké číslo – stovky tisíc)
- ▶ modely se počítají automaticky z rozsáhlých textových sad
- ▶ dosahují vyšší pokrytí, ale menší přesnost než “ruční” jazykové zdroje
- ▶ primární počítaná sémantická operace – podobnost

Podobnost dokumentů a slov

Podobnost dokumentů:

- ▶ důležitá např. pro **vyhledávání informací**
- ▶ dokument (dotaz) = **vektor frekvencí (TF-IDF frekvenčních skóre) slov**

doc1: **Hotel byl krásný, ale personál hotelu nepříjemný.**

doc2: **Hotel je standardní a jídlo v hotelu vynikající.**

query: **hotel a jídlo**

	doc1	doc2	query
a	0	1	1
ale	1	0	0
byl/být	1	2	0
hotel	2	2	1
hotelu/hotel	1	1	0
je/být	0	1	0
jídlo	0	1	1
krásný	1	0	0
nepříjemný	1	0	0
personál	1	0	0
standardní	0	1	0
v	0	1	0
vynikající	0	1	0

$$vec_{doc1} = \langle 1, 2, 0, 1, 1, 1, 0, 0 \rangle$$

$$vec_{doc2} = \langle 2, 2, 1, 0, 0, 0, 1, 1 \rangle$$

$$vec_{query} = \langle 0, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0 \rangle$$

snížení (prokletí) **dimensionality**:

- ▶ **výběr rysů (feature selection)** – stop slova, frekventovaná slova, ...
- ▶ **extrakce rysů (feature extraction)** – lemmatizace/stemming, latentní sémantická analýza, ...

Podobnost dokumentů

2 dokumenty jsou **podobné** ⇔ jsou **podobné** jejich **vektory**

podobnost vektorů se určuje **cosinovou podobností**:

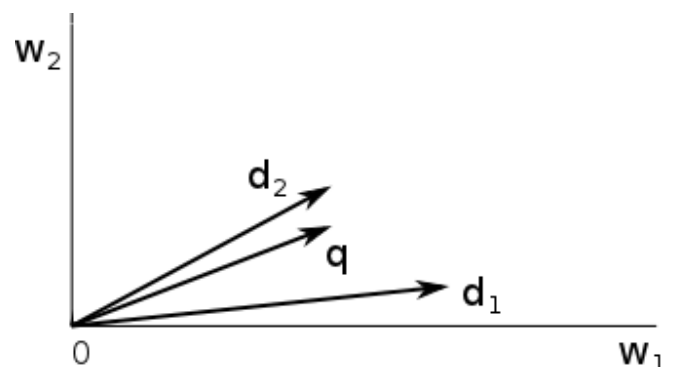
$$\frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{\|\vec{a}\| \cdot \|\vec{b}\|}$$

	doc1	doc2	query
být	1	2	0
hotel	2	2	1
jídlo	0	1	1
krásný	1	0	0
nepříjemný	1	0	0
personál	1	0	0
standardní	0	1	0
vynikající	0	1	0

(normalizovaný skalární součin vektorů, cosinus úhlu mezi vektory)

$$sim_{cos}(doc_1, query) = 0.5$$

$$sim_{cos}(doc_2, query) = 0.64$$



doc1: **Hotel byl krásný, ale personál hotelu nepříjemný.**

doc2: **Hotel je standardní a jídlo v hotelu vynikající.**

query: **hotel a jídlo**

Podobnost slov

analogicky **slovo** = **vektor frekvencí slova v dokumentech**

	doc1	doc2	query
být	1	2	0
hotel	2	1	1
jídlo	0	1	1
krásný	1	0	0
nepříjemný	1	0	0
personál	1	0	0
standardní	0	1	0
vyňikající	0	1	0

$$\text{vec}_{\text{standardní}} = \langle 0, 1, 0 \rangle$$

$$\text{vec}_{\text{vyňikající}} = \langle 0, 1, 0 \rangle$$

2 **slova** jsou **podobná** \Leftrightarrow jsou **podobné** jejich **vektory**

(to samozřejmě funguje lépe na velkých datech)

Reprezentace slov

reálně se místo dokumentů používají **kontexty**

... jsou na látky obsažené v čokoládě (kofein, **theobromin**) mimořádně citliví a nedokáží je ...
 ... kofein, který najdete v čokoládě, a **theobromin** působí stimulačně na centrální nervový ...
 ... se skrývá mimo jiné fenyletylamin a **theobromin** , přičemž mu jsou přisuzovány opojné ...
 ... podoba v čaji se nazývá theofylin a v kakau **theobromin** – účinky jsou prakticky stejné ...
 ... celospolečensky tolerované drogy, jako kofein, **theobromin** , nebo nikotin ...

z kontextů poznáme (odhadneme, kontexty určují) **význam slova**

(**theobromin** – látka vyskytující se v čokoládě s podobným stimulačním účinkem jako kofein)

Reprezentace slov

místo frekvencí slov –

skóre vzájemné informace (*Mutual Information (MI) score*)

MI skóre pro **pravděpodobnostní jevy** – *vyskytují se jevy X a Y spolu více, než kdyby byly nezávislé?*

$$MI(X, Y) = \log_2 \frac{P(X, Y)}{P(X)P(Y)}$$

MI skóre pro **slova/kontexty** – *vyskytuje se slovo $word$ v kontextu $context$ více, než kdyby byly nezávislé?*

$$MI(word, context) = \log_2 \frac{P(word, context)}{P(word)P(context)}$$

může se upravovat **vážením** (*weighting*) a **vyhlazováním** (*smoothing*)

Zapouzdření slov (Word Embedding)

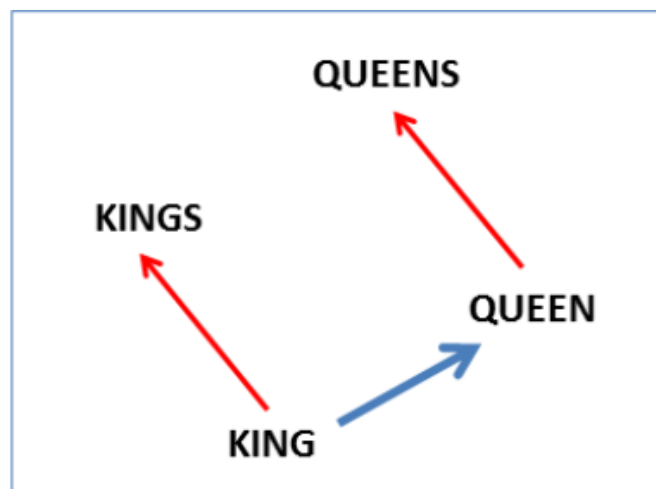
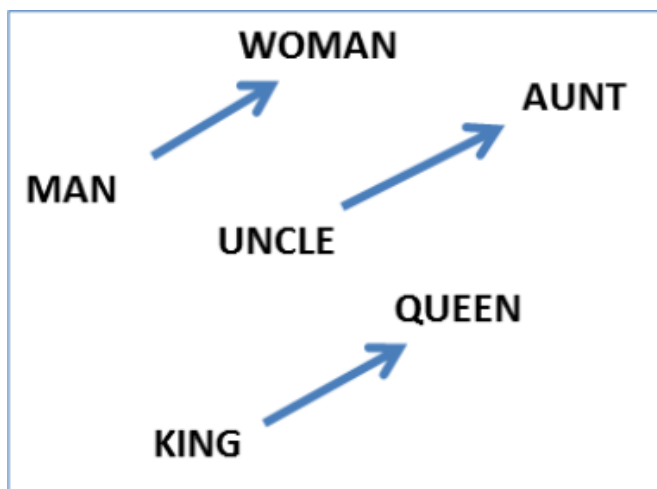
- ▶ jiný způsob **reprezentace významu slov** ve **vektorovém prostoru**
- ▶ na principu **extrakce rysů** – počet rysů stanovíme (třeba 1000)
- ▶ slovo inicializujeme jako **náhodný vektor** v prostoru rysů
- ▶ cyklicky upravujeme vektory tak, abychom maximalizovali **podmíněnou pravděpodobnost** mezi **slovem** a jeho **kontexty**

$$\arg \max_{\theta} \prod_{(w,c) \in D} P(c|w; \theta)$$

- ▶ algoritmy – **word2vec** (Mikolov, Google, princip učení neuronové sítě), **GloVe** (Pennington et al, Stanford Uni, faktorizace matic)
pro kvalitní výstupy je potřeba **velmi velká data** (miliardy slov)
existují rozšíření na fráze (**phrase2vec**) a dokumenty (**doc2vec**)

Zapouzdření slov (Word Embedding)

sémantické vlastnosti výsledných vektorů



(příklady od T. Mikolova)

Zapouzdření slov (Word Embedding)

sémantické vlastnosti výsledných vektorů

operace s vektory	nejbližší výsledný vektor
Paris - France + Italy	Rome
bigger - big + cold	colder
sushi - Japan + Germany	bratwurst
Cu - copper + gold	Au
Windows - Microsoft + Google	Android
Montreal Canadiens - Montreal + Toronto	Toronto Maple Leafs

(příklady od T. Mikolova)

Zapouzdření slov (Word Embedding)

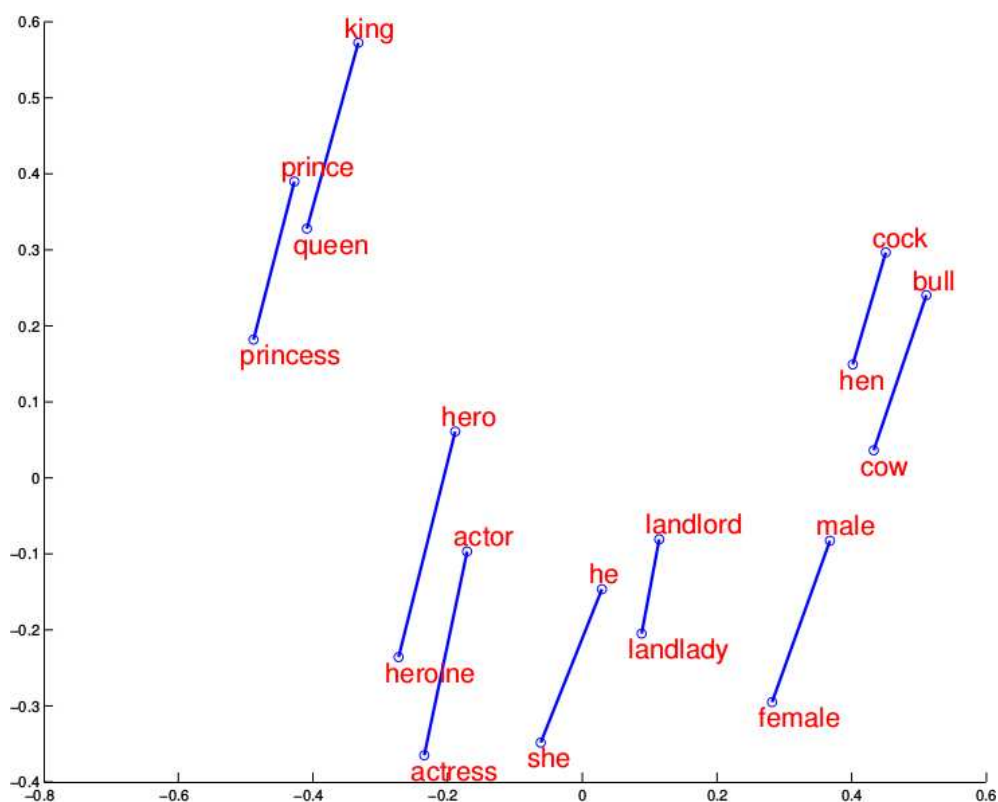
sémantické vlastnosti výsledných vektorů

operace s vektory	nejbližší vektory
Czech + currency	koruna, Czech crown, Polish zloty, CTK
Vietnam + capital	Hanoi, Ho Chi Minh City, Viet Nam, Vietnamese
German + airlines	airline Lufthansa, carrier Lufthansa
Russian + river	Moscow, Volga River, upriver, Russia
French + actress	Juliette Binoche, Vanessa Paradis

(příklady od T. Mikolova)

Zapouzdření slov (Word Embedding)

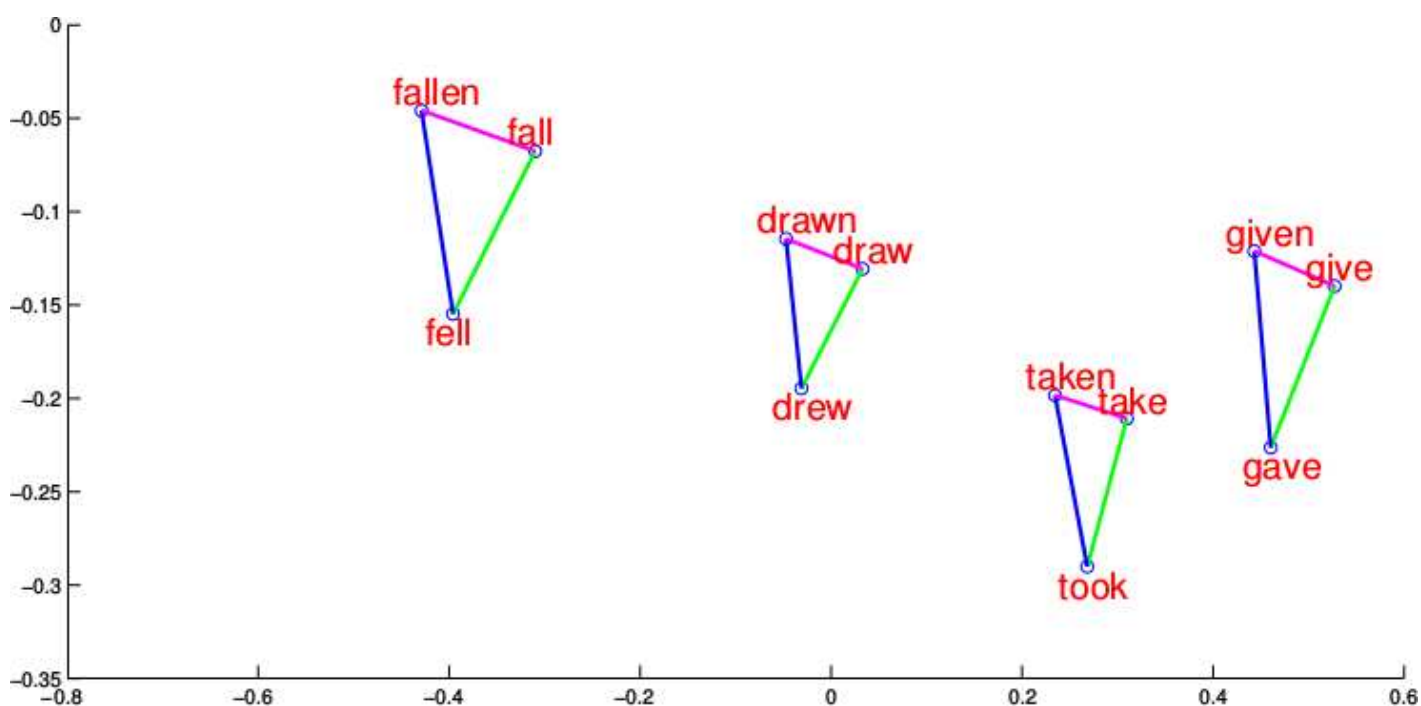
vizualizace pravidelností výsledných vektorů



(příklady od T. Mikolova)

Zapouzdření slov (Word Embedding)

vizualizace pravidelností výsledných vektorů

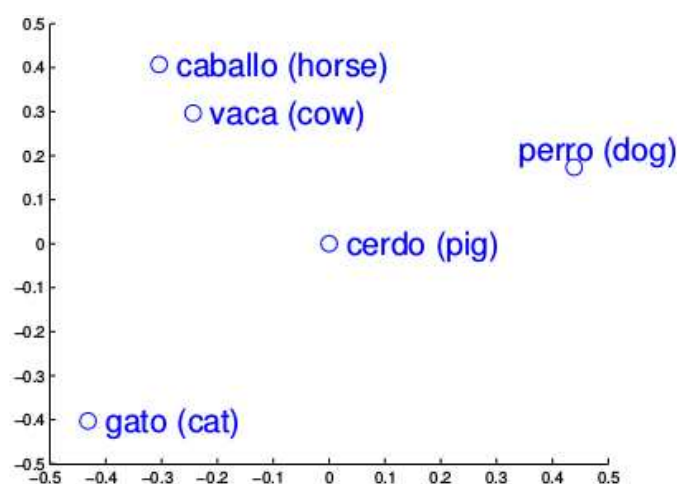
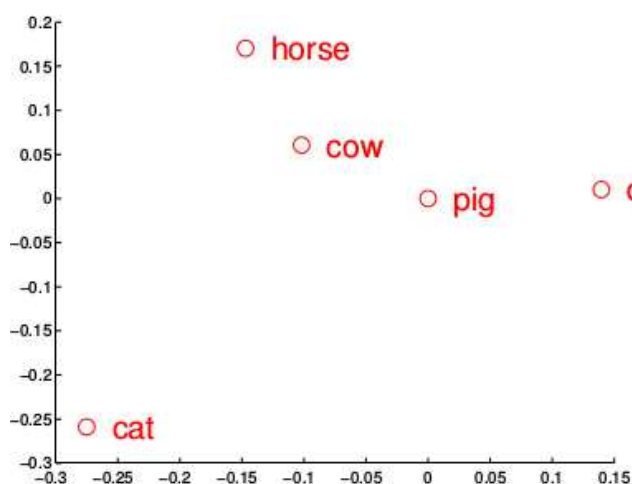


(příklady od T. Mikolova)

Zapouzdření slov (Word Embedding)

využití vektorových reprezentací pro **strojový překlad**

prostory různých jazyků je nutné **lineárně transformovat** (otočit, zmenšit)



(příklady od T. Mikolova)