

MASARYKOVA UNIVERZITA



Filozofická fakulta

Ústav českého jazyka

Český jazyk se specializací počítačová lingvistika

David Klement

Vizualizace sémantické sítě

Magisterská diplomová práce

Prohlašuji, že jsem svou magisterskou diplomovou práci vypracoval samostatně
s využitím uvedených pramenů a literatury.

.....
autor práce

Na tomto místě bych rád poděkoval Adamu Rambouskovi za trpělivé vedení při tvorbě této práce, za pomoc a veškeré odborné rady, jež mi ochotně poskytl.

Děkuji také své rodině za morální podporu a Marii Staré za jazykové korektury mé práce.

Abstrakt

Tato magisterská diplomová práce se zabývá sémantickými sítěmi typu wordnet a popisuje jejich strukturu a rozhraní, pomocí nichž je možno data wordnetů prohlížet. V první části obsahuje přehled sémantických vztahů mezi synsety, které se ve wordnetech vyskytují, a zabývá se detailněji princetonským WordNetem. Rozebírá, jak jsou wordnety organizovány a jaká byla východiska této organizace z hlediska uspořádání lidské paměti. Dále práce porovnává některá existující rozšířená rozhraní k sítím typu wordnet. Hodnocena byla přístupnost těchto rozhraní z různých zařízení s ohledem na to, že uživatelé používají širokou škálu zařízení pro přístup k informačním zdrojům. Výsledkem hodnocení byla kritéria, která by mělo splňovat nové rozhraní, které bylo vytvořeno v rámci praktické části této práce. Toto nové rozhraní je koncipováno jako webová aplikace nezávislá na platformě, kterou uživatel používá pro přístup k rozhraní. Pro co největší přístupnost je přizpůsobeno i pro mobilní zařízení, ovladatelné pomocí klávesnice a jeho stav je obnovitelný z adresy URL. Jako zdroj dat slouží v rozhraní různojazyčné wordnety, díky čemuž je umožněno mezijazykové vyhledávání konceptů.

Abstract

This master thesis investigates wordnet-type semantic networks and describes their structure and user interfaces to view wordnet data. The first part contains summary of semantic relations between synsets in wordnets and describes Princeton WordNet in more detail. It also examines psycholinguistic foundations of synsets arrangement. In the second part, this work compares some widespread existing wordnet interfaces and examines their accessibility and usage independent on a device and platform. Result of this examination are criteria for the new interface created as a practical part of this work. The new interface is designed as a platform-independent web application – accessible for mobile devices, controllable by a keyboard and its state is recoverable from a URL address. Wordnets in multiple languages are used as a data source which allows user to perform an interlingual concept search.

Klíčová slova

wordnet, vizualizace, sémantická síť, uživatelské rozhraní, webová aplikace, slovní vztahy

Keywords

wordnet, visualization, semantic network, user interface, web application, word relations

Obsah

Seznam zkratek	1
Úvod	2
I Sémantické sítě	3
1 Princetonský WordNet	5
1.1 Motivace vzniku	5
1.1.1 Strojově čitelné slovníky	6
1.1.2 Od slovníků k WordNetu	7
1.2 Vliv psycholingvistiky na organizaci WordNetu	7
1.3 Organizace WordNetu	9
1.3.1 Synsety a vztahy mezi nimi	10
1.4 Sémantické vztahy WordNetu	11
1.4.1 Hyperonymie a hyponymie	12
1.4.2 Meronymie a holonymie	12
1.5 Lexikální vztahy ve WordNetu	12
1.5.1 Synonymie	12
1.5.2 Antonymie	15
2 Další wordnety	16
2.1 EuroWordNet	16
2.2 BalkaNet	18
II Přehled a porovnání některých vizualizací sémantických sítí	20
3 Metodologie porovnání	22
3.1 Výběr rozhraní	22
3.2 Strukturalizace přehledu a kritéria hodnocení	23
3.3 Podmínky testování	24
4 Porovnání některých rozhraní	25
4.1 Vizualizace s webovým rozhraním	25
4.1.1 WordNet Search jako základ porovnání	25
4.1.2 An interactive visualization of the Princeton WordNet database	26
4.1.3 WordNET Editor	28
4.1.4 Cornetto Demo	30

4.1.5	WordVis	33
4.1.6	sloWTool	35
4.1.7	BabelNetXplorer	37
4.2	Vizualizace v aplikačním prostředí Java	39
4.2.1	wnbrowser	39
4.2.2	Treebolic	41
4.2.3	Visual Browser	42
4.3	Aplikace pro klasické počítače	44
4.3.1	Artha	45
4.3.2	GoldenDict	46
5	Shrnutí přehledu a vyplývající závěry o vhodném rozhraní	47
III	Praktická část: rozhraní k wordnetu	49
6	Návrh rozhraní	50
6.1	Východiska	50
6.2	Cíle nového rozhraní	51
7	Prezentace vytvořeného rozhraní	52
7.1	Základní představení	52
7.2	Textová reprezentace	52
7.3	Grafická reprezentace	54
8	Použité technologie	56
8.1	HTML	56
8.2	JavaScript	57
8.2.1	JSON	57
8.2.2	AJAX	57
8.2.3	Historie v prohlížeči	58
8.2.4	Použité knihovny a zásuvné moduly pro JavaScript	58
8.3	CSS	59
8.3.1	Bootstrap	59
9	Implementace rozhraní	60
9.1	Získávání dat	60
9.1.1	Parametry vyhledávání	61
9.1.2	Struktura odpovědi serveru	61
9.2	Zpracování odpovědi	62
9.3	Zobrazení dat	63
9.4	Uchovávání stavu v URL	64
10	Možnosti dalšího vývoje	66
	Závěr	68
	Bibliografie	75

Seznam zkratek

zkratka	význam
AJAX	Asynchronous JavaScript And XML
BCS	Base Concept Set
BFS	Breadth First Search
CBC	Common Base Concept
CSS	Cascading Style Sheets
DFS	Depth First Search
DOM	Document Object Model
GBC	Global Base Concept
HTML	HyperText Markup Language
ILI	InterLingual Index
JSON	JavaScript Object Notation
JVM	Java Virtual Machine
LBC	Local Base Concept
LTS	Long Term Support
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NLP	Natural Language Processing
RDF	Resource Description Framework
SSJČ	Slovník spisovného jazyka českého
SSČ	Slovník spisovné češtiny
URL	Uniform Resource Locator
WN	WordNet
WORA	Write Once, Run Anywhere
WWW	World Wide Web
XHR	XMLHttpRequest
XML	eXtensible Markup Language

Úvod

Tato práce se zabývá sémantickými sítěmi typu wordnet z pohledu lidského uživatele. Sémantická síť princetonský WordNet a další sítě z něj vycházející byly projektovány se záměrem pomoci počítačovému zpracování přirozeného jazyka. Díky své struktuře založené na psycholingvistických poznatcích jsou však sémantické sítě potenciálně užitečné i pro lidského uživatele. Tento potenciál společně s vědními základy, které formovaly strukturu wordnetů, práce rozebírá v části *Sémantické sítě*.

Aby sémantická síť byla pro lidského uživatele použitelná, je nutné umožnit k ní přístup pomocí rozhraní, které zájemci zobrazí relevantní data. Takových rozhraní bylo vytvořeno za dobu vývoje sémantických sítí značné množství; vytvořená rozhraní se liší tím, na které uživatele jsou zaměřena, platformami, které podporují, či způsoby prezentace dat wordnetů. Jejich společným rysem bývá neaktuálnost návrhu uživatelského rozhraní, a to především v kontextu přesunu uživatelů z klasických stolních počítačů a laptopů na mobilní zařízení [McG13].

V části *Přehled a porovnání některých vizualizací sémantických sítí* se práce věnuje těmto existujícím rozhraním, rozebírá jejich funkcionalitu, pozitiva a negativa a hodnotí jejich přínos a použitelnost pro koncového uživatele. Hodnocená rozhraní je nutno brát pouze jako zástupce většího množství dostupných rozhraní (a možná ještě většího těch nedostupných), jelikož cílem této práce není představit co nejúplnější přehled existujících rozhraní, ale spíše ukázat menší množství těch relativně snadno dostupných a podrobněji je rozebrat. Cílem této části je identifikovat nejvýraznější nedostatky těchto rozhraní a vyvodit z jejich zhodnocení některé vlastnosti, kterými by se mělo moderní rozhraní vyznačovat.

Praktickým cílem této práce je vytvořit rozhraní nové, jehož návrh by vycházel z empiricky získaných poznatků při hodnocení existujících rozhraní (*Přehled a porovnání některých vizualizací sémantických sítí*). Podrobnějšímu popisu výsledného rozhraní je věnována *Praktická část: rozhraní k wordnetu*.

Část I

Sémantické sítě

Sémantické sítě neboli wordnety jsou lexikální databáze vytvořené s rozličnými záměry, mezi něž patří například strojová inference informací v počítačovém zpracování přirozeného jazyka. Ve wordnetech jsou slova (neboli slovní formy) slučována podle významů do synonymických okruhů zvaných synsety a tyto okruhy jsou propojovány sémantickými vztahy [PŠ13; Pri10], čímž celek dostává svého označení sémantická síť.

Kapitola 1

Princetonský WordNet

Princetonský WordNet je první wordnet vůbec. Vznikal na univerzitě v Princetonu pod vedením G. A. Millera od poloviny 80. let 20. století. Vzhledem k tomu, že byl prvním wordnetem, bylo k němu referováno jako k WordNetu, bez přívlastku. Ačkoliv tento stav v podstatě přetrvává dodnes, oproti době jeho vzniku se situace změnila, vzniklo několik dalších wordnetů a nastala potřeba je rozlišit. V anglickém prostředí se obvykle pojmem wordnet míní princetonský WordNet a všechny ostatní wordnety mají přívlastek či vlastní jméno. Příkladem necht jsou evropské wordnety BalkaNet či EuroWordNet¹. Ačkoliv v mezinárodním prostředí je obvyklé přívlastek princetonský používat, tato práce používá následující rozlišení:

- *WordNet* (ve významu princetonského WordNetu)
- *wordnet* (v obecném významu sémantické sítě založené na WordNetu)
- *BalkaNet* (ve významu konkrétního wordnetu)

1.1 Motivace vzniku

Od počátků snah o zpracování přirozeného jazyka² bylo nutné poskytnout programu data o lexiku ve zpracovávaném textu, ať už ona data byla jakákoliv. Kupříkladu v začátcích strojového překladu se mělo za to, že stačí ekvivalentní dvojice slov ve zdrojovém a cílovém jazyce, později byla implementována i pravidla, jež měla eliminovat problémy s pořádkem slov ve větách, ale výsledné překlady stále nebyly po kvalitativní stránce uspokojivé, neboť vyžadovaly značné množství editací po zpracování automatickým systémem. [W82]

Tradičně se lexikální materiál ukládal způsobem nikoliv diametrálně odlišným od papírových slovníků určených pro lidské uživatele. Ty obvykle obsahují lexikální záznamy seřazené podle abecedy a s potřebnými informacemi o daných slovech, z nichž pak program může čerpat při zpracování textu.

Jak uvádí Pala; Ševeček [PŠ13], uspořádání lexikálního materiálu ve formě, v jaké je v tradičních slovnících, je sice vhodné pro člověka, jelikož je to v podstatě jediný způsob, jak lidskému uživateli umožnit vyhledání konkrétního slova, zvláště nezná-li jeho význam, pro strojové zpracování je ale takto zpracovaný slovník nedostatečný. Seřazení indexu slovních forem je sice pro efektivní vyhledávání slov důležité, struktura tradičního slovníku

¹o jiných wordnetech více v dalších kapitolách

²angl. *Natural Language Processing*, zkráceně NLP

však neposkytuje vhodně zakódované informace o příbuznosti slov. Jednak kvůli abecednímu řazení inherentně vzdaluje slova, jež člověk chápe jako nějakým způsobem blízká [PŠ13], jednak neobsahuje dodatečné vazby mezi příbuznými slovy (nebo je obsahuje ve formě nevhodné pro strojové zpracování). Významová blízkost může vyplývat ze vztahu volné synonymie, antonymie, podřazenosti, nadřazenosti etc. Pokud si například uživatel výkladového slovníku nepříliš obeznámený s daným jazykem vyhledá určité heslo, dozví se sice jeho význam, ale nebude schopen své znalosti prohlubovat dále, kupříkladu zjištěním, jaké slovo odpovídá opačnému významu.

Další všeobecný problém při využití tradičních slovníků k počítačovému zpracování jazyka je fakt, že lexikografové předpokládají u uživatele slovníku značné encyklopedické znalosti. Zařazují tak do slovníku jen informace dle jejich názoru důležité pro zařazení dané entity do příslušné nadřazené třídy (genus proximum) a rozlišení dané entity v nadřazené třídě (differentia specifica). Vyhledáme-li ve Slovníku spisovného jazyka českého (SSJČ) heslo **vlk**, nalezneme následující definici [Hav⁺71]:

vlk: psovitá šelma šedě (n. šedožlutě) zbarvená, žijící v Evropě, Asii a v Sev. Americe

Definice a priori předpokládá, že uživatel je obeznámen s tím, co je šelma a co je pes. Pokud takovou znalostí neslyne (což je například u cizince vcelku představitelné), je nucen si tato slova ve slovníku najít a podívat se na jejich definice (pomiňme nyní netriviální úkol převést slovo **psovitá** na základní tvar **pes**). Pokud nerozumí ani definicím nadřazených slov, musí pokračovat v hierarchii dále a dále.

Z uvedeného případu plyne, že jakkoliv je možné správným vyhledáváním hyperonym dospět k tomu, že **vlk** je konkrétní entita našeho vesmíru, živá bytost o čtyřech končetinách, savec nějakým způsobem příbuzný psovi, má šedou srst etc., je takový proces značně komplikovaný. Příklad s cizincem se sice nemusí zdát zcela relevantní, protože se dá předpokládat, že daný člověk má, byť v jiném jazyce, stejné základní znalosti předpokládané lexikografy jako člověk, jehož mateřštinou je čeština. Situace je však dramaticky jiná u počítače (přesněji u počítačového programu). Na rozdíl od člověka totiž počítač nemá žádné předchozí znalosti, tudíž musí projít celým procesem popsáním výše, aby byl schopen kupříkladu určit, že **vlk** může umřít (ježto je živá bytost). Tradiční slovníky typu SSJČ neobsahují žádné propojení ve stylu *toto je odkaz na hyperonymum*, může počítač jen těžko zjišťovat, na které vlastně slovo se má podívat, aby se dobral podstaty pojmu **vlk**.

1.1.1 Strojově čitelné slovníky

V zájmu automatizace vyhledávání ve slovníku vznikaly tzv. strojově čitelné slovníky³, což je pojem souhrnně označující lexikální databáze. Podle množství informací, které taková databáze obsahuje, pak lze tyto dělit na slovníky, taxonomie a ontologie. Obyčejný slovník neobsahuje oproti tradičnímu papírovému slovníku navíc žádné metainformace, takže je počítač při jeho užívání v podstatě omezen na elektronický listovač [Mil⁺90].

Míru, jakou se strojově čitelný slovník odlišuje od pouhé zdigitalizované formy papírového slovníku a přiblíží se k pokročilé lexikální databázi, lze vyjádřit v několika stupních. V případě, že slovník má jednotlivé významy uspořádány v hierarchii dle hyperonymie

³angl. *machine readable dictionary*

a hyponymie, lze jej označit za taxonomii, tedy systém s hlubší strukturou než pouze abecedním řazením hesel.

Dalším stupněm je již komplexní lexikální databáze, která má jednotlivé významy propojeny rozličnými vztahy, počínaje hyperonymií a hyponymií a pokračuje kupříkladu vztahy meronymie⁴ či antonymie. Kromě vztahů mezi významy taková lexikální databáze obsahuje obvykle i další informace, například o syntaktických kategoriích slov, definice jejich významů etc. Databáze takto popsaných významů propojených sémantickými⁵ a případně i lexikálními vztahy⁶ může být nazývána ontologií. [Gar]

1.1.2 Od slovníků k WordNetu

Výše uvedená opozice papírového slovníku a ontologie ilustruje rozdíly tradičního slovníku a počítačově zpracovatelné lexikální databáze. Jedním z klíčových rozdílů je propojenost jednotek v lexikální databázi – tradiční slovníky, byvše v době svého vzniku většinou určeny pro distribuci v papírové formě a pro lidského uživatele, neobsahují důsledné propojení sémanticky souvisejících slov. Příkladem budiž *kostra* a její části, např. *lebka*. Ve Slovníku spisovné češtiny (SSČ) i v SSJČ se u *lebky* uvádí, že jde o *kostru hlavy* [Hav⁺71; Fil⁺94]. Lze tedy s jistou rezervou tvrdit, že heslo obsahuje své holonymum⁷, opačný odkaz však ani jeden z těchto dvou slovníků neobsahuje. Z celkem evidentních ekonomických důvodů nejsou u hesla *kostra* uvedeny všechny její části. Tento příklad příhodně ukazuje i jistou nesystémovost tradičních slovníků, která je pro počítačové zpracování fatální, jelikož, jak bylo zmíněno výše, znemožňuje systémové procházení hierarchie slovní zásoby a zjišťování podstaty jednotlivých významů.

Naznačeny tedy byly vlastnosti, jež by lexikální databáze měla oproti tradičnímu slovníku mít, aby byla použitelná pro počítačové zpracování přirozeného jazyka. Především jde o systémovost vztahů. Hypero-/hyponymie je vztah oboustranný, tudíž by mělo být možné se stejnou cestou dostat od nadřazeného slova k podřazenému a naopak. Dále je podstatné, aby sémantické vztahy byly přesně definované, a tudíž algoritmicky zpracovatelné. Jedině tak je totiž možno jednoznačně určit, které slovo (či slova) je v takové databázi konkrétnímu slovu nadřazené, které je jeho specifikací, označením jeho částí etc.

S touto myšlenkou vznikl WordNet – lexikální síť významů provázaných sémantickými vztahy a slovník forem provázaných lexikálními vztahy tak, aby to dle poznatků psycholinguistiky odráželo organizaci lexikálního materiálu v lidském mozku (více v kap. *Vliv psycholinguistiky na organizaci WordNetu* na straně 7). [PŠ13]

1.2 Vliv psycholinguistiky na organizaci WordNetu

Jelikož G. A. Miller, koordinátor projektu WordNet, byl svým zaměřením psycholog a přispěl k vzniku psycholinguistiky, ubíral se projekt WordNetu podobným směrem. Společně s P. Johnson-Lairdem se Miller zaměřil na výzkum, jakým způsobem je lexikální materiál uložen v lidském mozku. Tento vědní směr je označován jako psycholinguistika a jeho počátky jsou spojeny s průzkumem asociací a způsobem modelování mentálního slovníku

⁴vztah *je částí*, tedy např. *dveře* je meronymem *trolejbusu*

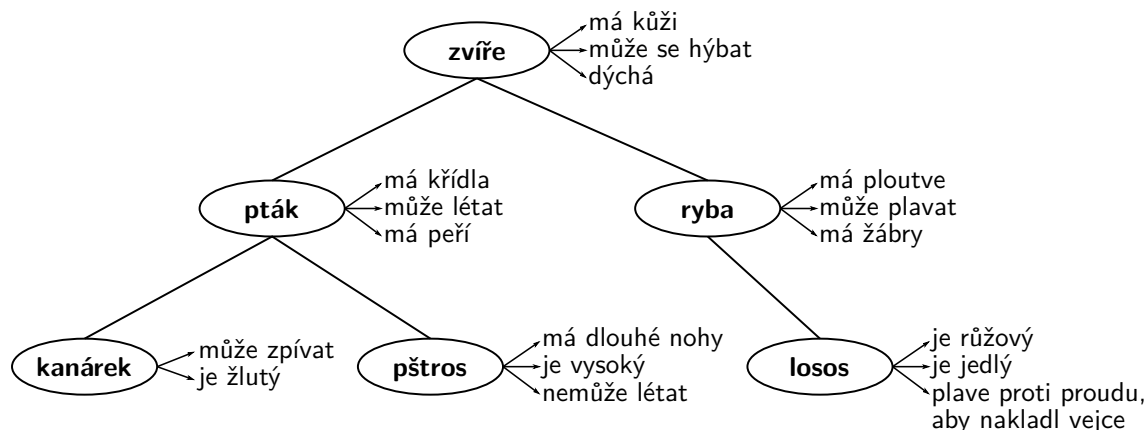
⁵podrobněji v kapitole *Sémantické vztahy WordNetu* na straně 11

⁶podrobněji v kapitole *Lexikální vztahy ve WordNetu* na straně 12

⁷vztah opačný k meronymii; tedy např. *dům* je holonymem pro *okno*, *dveře*, *práh* etc.

člověka. Výchozí myšlenka, že se odráží i ve způsobu organizace WordNetu, spočívá v tom, že slovní zásoba je organizována konceptuálně a pro některé slovní druhy (zejména substantiva) hierarchicky. Konceptuálním uspořádáním je míněno seskupování slovních forem s podobným významem, hierarchická organizace pak staví významy do vztahů například zmíněné hyperonymie a hyponymie.

Jednou z otázek psycholingvistiky bylo, jakým způsobem je v hierarchickém modelu paměti řešeno získávání vlastností pro význam, které jsou „podděně“ po významech hierarchicky výše umístěných. Aby člověk byl schopen například určit pravdivostní hodnotu výroku *Kanárek může létat*, musí použít svou dlouhodobou paměť. Její organizace je možná (minimálně) dvěma způsoby. První, redundantní, by vypadal tak, že by u každé podtřídy ptáků bylo uloženo, že její instance jsou schopny létat. Druhý, již na první pohled výrazně méně náročný na kapacitu paměti, by příznak schopnosti létat měl uložený pouze u třídy *pták*. Pro zjištění, zda kanárek létá, by pak bylo nutno zapojit inferenční proces ve stylu *kanárek je pták, tudíž může létat*. [CQ69] Takový neredundantní model ukládání informací je ilustrován na obrázku 1.1 na straně 8.



Obrázek 1.1: Ilustrace hypotetického neredundantního modelu ukládání informací v mozku; upraveno a přeloženo z Collins; Quillian [CQ69]

Jak Collins; Quillian [CQ69] dále uvádí, lze předpokládat, že v případě prvního způsobu organizace paměti by člověk mohl kteroukoliv informaci o příznacích (vlastnostech) z paměti vyvolat za konstantní čas. Naproti tomu v případě způsobu druhého by extrakce příznaku z významu v hierarchii položeného dále měla trvat delší čas než extrakce příznaku přítomného přímo u významu, kvůli němuž celý proces extrakce probíhá. Důvodem by měla být nutnost zapojení inferenčního procesu a jeho délka rostoucí se vzdálenostmi významů cílového a zdrojového, tedy toho, pro nějž je příznak zjišťován, a toho, z něhož jsou znalosti o vlastnostech zdrojového významu čteny.

Pokus, kterým podpořili Collins; Quillian [CQ69] teorii o užívání druhého, neredundantního, způsob ukládání příznaků v paměti, spočíval v tom, že testovací subjekty, dobrovolníci z řad zaměstnanců společnosti Bolt, Beranek and Newman, měly určovat, zda jim předložený výrok připadá pravdivý, či nepravdivý. Měli tak činit co nejpresněji a v co nejkratším čase, přičemž byla měřena rychlost jejich reakce. Ukázalo se, že reakční doba při určování pravdivosti výroku *Kanárek umí létat*⁸ je delší než při určování pravdivosti

⁸angl. A canary can fly

výroku Kanárek umí zpívat⁹ a ještě delší při určování výroku Kanárek má kůži¹⁰. Důvodem pro tyto progresivní prodlevy podle Collins; Quillian [CQ69] byla právě zvětšující se vzdálenost od významu kanárek k významu, u něhož byl uložen příslušný příznak, tedy umí zpívat, umí létat, resp. má kůži. Příznak umí zpívat totiž je pravděpodobně uložen přímo u kanárka, jelikož jej odlišuje od ostatních ptáků, zatímco příznak umí létat je obecným znakem ptáků, tudíž je uložen u významu pták. V poslední řadě pak příznak má kůži bude patrně uložen u významu zvíře, který je z oněch tří v hierarchii nejvýše, a tudíž od významu kanárek nejdále, jak ilustruje obrázek 1.1 na straně 8.

WordNet se svou hierarchickou organizací slovní zásoby pravděpodobně konceptuálně blíží organizaci lexika v lidské paměti. Díky této podobnosti v uspořádání informací se zdá být vhodný nejen k úkolům počítačového zpracování jazyka, ale i k činnostem v jiných oblastech. V souladu s příklady, jež byly předloženy výše, se zdá, že zkoumání významů a propojenosti konceptů v jazyce, s nímž není uživatel zcela obeznámen, by mohlo ve WordNetu být snazší než v klasickém slovníku. V podobném duchu využili při svých kurzech WordNet například Lemnitzer; Kunze [LK04].

1.3 Organizace WordNetu

Ve WordNetu lze nalézt informace o autosémantikách, slovech plnovýznamových, tedy substantivech, adjektivech, slovesech a příslovcích [Vos98]. Synsémantika (např. předložky, spojky etc.) nebyla zahrnuta, jelikož se zdá, že jsou uložena odděleně od slov plnovýznamových. Teorii, že jsou funkční slova uchovávána jako součást syntaktikonu, podpořil kupříkladu Garrett [Gar82] při svém pozorování afatických pacientů.

Vůbec první podnět k předpokladu, že různé slovní druhy podléhají různě strukturalizaci v paměti, vyvolal asociační test, který provedli Fillenbaum; Jones [FJ65]. Tomuto asociačnímu testu byly podrobeny anglicky mluvící subjekty, které měly za úkol uvést první slovo, které je napadne při myšlence na předložené slovo. Předkládána jim byla dobře známá a často používaná slova náležející k různým slovním druhům. Ukázalo se, že ve většině případů náleží asociované slovo ke stejnému slovnímu druhu jako slovo, které asociaci vyvolalo. Substantivum vyvolalo asociaci na substantivum v 79 % případů, adjektivum na adjektivum v 65 % případů a verbum na verbum ve 43 % případů.

Ačkoliv není zřejmé, čím je dáno, že člověk tak jednoduše zjistí náležitost slova ke slovnímu druhu, lze z uvedených dat předpokládat, že slovní druh je primární organizační vlastnost lexikálního materiálu v lidském mozku a informace o něm je snadno dostupná (alespoň intuitivně). Jelikož správné tvoření vět vyžaduje minimálně podvědomé ponětí o tom, které slovo náleží do které syntaktické kategorie, není s podivem, že tato informace je dostupná lidskému uvažování velmi jednoduše. Jelikož se však slova stejného slovního druhu příliš často nevyskytují pohromadě, není známo, jak tyto znalosti člověk získává. [FJ65; Mil⁺90]

⁹angl. A canary can sing

¹⁰angl. A canary has skin

1.3.1 Synsety a vztahy mezi nimi

Slova (slovní formy) jsou ve WordNetu seskupována podle svého významu (a slovního druhu, k němuž náležejí). Řadě slov přináležejících ke stejnému významu se v terminologii WordNetu říká synset ¹¹ neboli synonymická řada. Každý synset reprezentuje jeden význam, ale je nutno mít na paměti, že granularita synsetů nemusí být konzistentní a v podstatě záleží na tom, jak tvůrci definovali synonymum (více v kap. *Synonymie* na straně 12). Granularita synsetů je tedy dána tím, jak volná je synonymie, jež slovní formy v jednom synsetu spojuje. Synset je ve WordNetu reprezentací významu a je definován slovy (formami), které obsahuje. Jelikož význam slov je definován tím, v jakém synsetu se vyskytují (ke kterému konceptu náleží), jde v podstatě o kruhovou definici, a tudíž je zřejmé, že definice významů musí být rozšířena. Lze říci, že význam konceptu reprezentovaného synsetem je založen na jeho pozici v celé struktuře. Význam konceptu je tedy definován jeho kontextem, to znamená nadřazenými a podřazenými koncepty. [KM02] Vztahy mezi koncepty jsou vztahy sémantické, jelikož se týkají významů slov (cf. lexikální vztahy níže v kapitole *Lexikální vztahy ve WordNetu* na straně 12).

Aby bylo možno WordNet použít k inferenci (získávání informací) o slovech strojově, jsou synsety ve WordNetu propojeny vztahy, z nichž je zřejmé, jakou informaci inferenční stroj získá, přejde-li po daném vztahu k dalšímu konceptu. Strojové zpracování textu, potažmo strojová inference informací, se od té lidské liší v jednom zásadním aspektu, kterým je fakt, že stroj nemá encyklopedické znalosti o světě, jež má k dispozici člověk. Pro strojové zpracování textu je tedy nutné zajistit, aby všechna potřebná data bylo možné získat z lexikální databáze, v tomto případě z WordNetu.

Zmíněné kritérium, že slovní formy jednoho synsetu musí náležet k jedné syntaktické kategorii (slovnímu druhu), je podloženo jednoduchým pravidlem o nezaměnitelnosti slov přináležejících různým slovním druhům. Seskupování konceptů podle slovního druhu vede, zřejmě navzdory snaze o ekonomii ukládání informací, kterou se lidský mozek vyznačuje, k jisté redundantnosti systému. Existuje totiž mnoho slov (např. v angličtině), která zastupují jak substantivum, tak verbum (např. angl. *show*, popř. české *stát*). Míra sémantické podobnosti takových slov může být značně odlišná. V angličtině je relativně běžné, že substantivum popisuje činnost, k jejímuž dějovému vyjádření se užívá sloveso stejné formy (např. *run* vyjadřuje běh i běžet). U zmíněného českého *stát* sice lze vyzorovat poněkud vzdálenou sémantickou příbuznost (pojmenování pro stát jako organizovanou územní a politickou mocenskou jednotku [Oxf03] je zřejmě motivováno jako něco stálého, co dlouho *stojí*), ale není to příliš intuitivní a takové dva výrazy nemohou být zařazeny do stejného konceptu. Slova náležející do odlišných syntaktických kategorií se rovněž syntakticky chovají zcela rozdílně a rozhodně v žádném kontextu nemohou být zaměněna jedno za druhé, což také znemožňuje jejich zařazení do stejného synsetu. [Mil⁺90]

Dalším argumentem pro striktní rozdělení slovní zásoby dle slovních druhů je fakt, že různé slovní druhy mají různou hierarchizaci. Jak popisuje kapitola *Sémantické vztahy WordNetu* na straně 11, například substantiva jsou hierarchizována podle vztahu hyperonymie a hyponymie, přičemž u nich existují další vztahy jako meronymie, která například u sloves existovat nemůže. Naopak vztah antonymie, který je relativně běžný u adjektiv,

¹¹angl. zkrácenina pro *synonym set*, tedy synonymická řada

se u substantiv téměř nevyskytuje¹². Verba jsou zase provázána vztahem vyplývání, který u substantiv není příliš evidentní¹³, ale u sloves je vcelku hojný – například z činnosti *zírat* vyplývá i *nadřazená* činnost *hledět*.

Sémantické relace mezi slovy různých syntaktických kategorií ve WordNetu neexistují, pro tyto případy jsou definovány relace lexikální. Oproti sémantickým relacím, které provazují celé koncepty, jsou lexikální relace definovány na úrovni jednotlivých forem. Dvě stejné formy, například *run*, jedna náležející k substantivům, druhá k verbům, jsou propojeny vztahem derivačně příbuzné formy¹⁴. [Wor]

1.4 Sémantické vztahy WordNetu

V této kapitole jsou podrobněji rozebrány sémantické vztahy konstituující WordNet. Sémantické vztahy jsou, na rozdíl od vztahů lexikálních, které jsou vztahy mezi slovními formami, vztahy mezi koncepty (významy). Rozdíl nejlépe ilustruje příklad: Synonymie je typickým vztahem lexikálním; kdyby byla vztahem sémantickým, znamenalo by to, že dva různé významy (koncepty) mají stejný význam, což by odporovalo definici významu jako celku s jedním smyslem, jelikož v tom případě by to nebyly dva významy, ale jeden.

Struktura těchto vztahů není, jak by se na první pohled mohlo zdát, plochá, ale organizovaná podle syntaktické kategorie významů, jež jsou těmito vztahy propojeny. Substantiva mají své vlastní vztahy, stejně tak adjektiva, verba a adverbia. Pojmenování těchto vztahů vychází z lingvistických termínů k nim relevantních (např. hyperonymie), ale v některých případech se pojmenování napříč různými syntaktickými kategoriemi překrývá, ačkoliv jde o vztahy různé. Například angl. sloveso *run*¹⁵ má ve WordNetu jako hyperonymum uveden synset s významem *pohybovat se velmi rychle* obsahující slovesa *travel rapidly*, *speed*, *hurry*, *zip*¹⁶. Je evidentní, že tento vztah hyperonymie není identický se vztahem hyperonymie u substantiv, kde *house*¹⁷ má jako přímé hyperonymum uveden synset *building*, *edifice*¹⁸. Z činnosti *běžet* vyplývá činnost *rychle se pohybovat*, ale *budova* je pro *dům* nadřazenou třídou. Jde tedy o vztah podobný, ale nikoliv identický. [Pri10]

Vzhledem k vlastnostem sémantických vztahů, jimiž jsou synsety WordNetu provázány, tvoří WordNet orientovaný graf (což je v rozporu s obecně značně rozšířenou vizualizací WordNetu jako stromové struktury). Pokud se v tomto grafu vyskytnou anomálie (chyby), může se stát i cyklickým grafem (pokud by například synset měl za hyperonymum sám sebe). To je však zřejmě ojedinělý jev. [Ric08] Zdánlivé cykly v reprezentaci však nastat mohou, jelikož jeden koncept může mít více hyperonym (více v kapitole *Hyperonymie a*

¹²Lze argumentovat, že např. *život* je antonymem pro *smrt*, faktem ale je, že jde o velmi volnou antonymii – život popisuje stav či průběh doby, kdy je bytost živá, smrt referuje pouze k okamžiku, kdy se z živé bytosti stává mrtvá bytost, tedy rozhodně nejde o přímý protiklad jako například u adjektiv *světlý:tmavý* nebo *špatný:dobry*. Stejně tak např. *Bůh* a *Đábel* jsou sice proti sobě pokládány bytosti, ale jejich antonymie spočívá spíše ve vlastnostech jim připisovaných, tedy subjektivních, a uživatel jazyka může prohlásit, že obě tyto bytosti jsou špatné, čímž ztratí svou protikladnost.

¹³Asi lze tvrdit, že z *života* vyplývá *smrt*, ale pravděpodobně takto provázaných substantiv nebude mnoho.

¹⁴angl. *derivationally related form*

¹⁵čes. *běžet*

¹⁶čes. *cestovat rychle*, *uhánět*, ...

¹⁷čes. *dům*

¹⁸čes. *budova*, *stavba*

hyponymie na straně 12), která v určitém bodě budou mít opět společné hyperonymum, jelikož má WordNet jeden kořen.

1.4.1 Hyperonymie a hyponymie

Vztah nadřazenosti a podřazenosti strukturalizuje především slovní zásobu substantiv vztahem tříd a podtříd. Jde o vztahy tranzitivní a asymetrické. [Mil⁺90] Díky této hierarchizaci se lze například vyhnout redundanci ukládání informací v paměti, jelikož příznaky třídy není nutné ukládat u každé podtřídy. Podtřída dědí všechny příznaky své mateřské třídy a přidává minimálně jeden další. Například *tramvaj* je *pouliční kolový přepravník*, který jezdí po kolejích a je poháněn elektřinou¹⁹. Pokud některý ze zděděných příznaků pro podtřidu neplatí, je tento fakt u ní explicitně uložen (podrobněji v kapitole *Vliv psycholinguistiky na organizaci WordNetu* na straně 7). Uspořádání, v němž jsou atributy takto děděny, se nazývá dědičný systém²⁰ [Tou86].

Substantiva jsou ve WordNetu organizována tak, že každý význam má svůj mateřský význam (hyperonymum), kromě jednoho jediného, a tím je *entity*²¹, tedy uměle vytvořený pojem sloužící jako kořen celé sítě. Jeden koncept může mít hyperonymních významů více, například *house* má jako svá hyperonyma uvedeny synsety (n) *dwelling*, *home*, *domicile*, *abode*, *habitation*, *dwelling house* a (n) *building*, *edifice*.

1.4.2 Meronymie a holonymie

Meronymie a k ní komplementární vztah holonymie je, navzdory nepříliš rozšířenému názvosloví, další vztah, jenž je pro uživatele jazyka intuitivní a známý. Jde o vztah *být částí*, potažmo *mít část*. Meronymie je definována tak, že B je holonymem A v případě, že jednou z částí B je A. Meronymie je vztahem stejně jako hyperonymie transitivním a asymetrickým. [Cru86] Tento vztah také hierarchizuje lexikum do určitých úrovní, ale na rozdíl od vztahu nadřazenosti, v němž obvykle jeden nadřazený význam mívá jeden až více podřazených významů, u vztahu části a celku je situace složitější. Je totiž nasnadě, že jeden význam může být meronymem mnoha holonymům – kupříkladu *dveře* mohou být meronymem například u *dům*, *auto*, *šatník*, *počítačová skříň* etc.²²

Vztah části a celku je vlastní výhradně substantivům. U sloves se může vyskytovat vztah vyplývání a příčiny.

1.5 Lexikální vztahy ve WordNetu

1.5.1 Synonymie

Synonymie je základní definiční vztah pro synsety ve WordNetu. Na praktických aplikacích je tento jev nejlépe pozorovatelný, jelikož při vyhledání konkrétní formy je uživateli obvykle nabídnut výběr z jednotlivých významů dané formy. Aby byly od sebe významy oné formy

¹⁹ve WordNetu *streetcar*, *tram*, *tramcar*, *trolley*, *trolley car* (*a wheeled vehicle that runs on rails and is propelled by electricity*) [Pri10]

²⁰angl. *inheritance system*

²¹čes. *entita*

²²Ve WordNetu to může být ilustrováno na jednom významu *dveří*, u něhož jsou jako holonymum uvedeny významy *dveřní otvor*, *dveře*, *přístup do pokoje*, *práh* (*doorway*, *door*, *room access*, *threshold*) [Pri10]

odlišitelné, nabídka obvykle sestává ze seznamu skupin slovních forem náležejících do nalezených synsetů. Kupříkladu při vyhledání slova *kolo* v českém wordnetu je uživatel konfrontován s několika skupinami, které obsahují zhruba následující:

- *kolo* (1),
 - *jízdní kolo* (1), *bicykl* (1), *kolo* (2),
 - *kružnice* (1), *cívka* (1), *kolo* (3)
- etc. (Pala; Smrž [PS04])

přičemž čísla v závorce značí index významu dané formy v daném synsetu. Reprezentace v různých aplikacích a různých wordnetech se liší (standardem bývá číslo významu psát za dvojtečku), význam však zůstává neměnný.

Navzdory zdánlivé jednoduchosti uvedeného konceptu je všeobecnou otázkou, jak synonymii pojímat. Striktní teorie (obvykle připisovaná Leibnizovi) praví, že dvě slova jsou synonymní, pokud se jejich záměnou nikdy nezmění pravdivostní hodnota výroku. Lingvistickou interpretací tohoto poněkud matematicko-logického výroku může být, že dvě slova jsou synonymní v případě, že se jejich záměnou nikdy neporuší význam (zhruba ona pravdivostní hodnota) a gramatičnost výroku. Je nasnadě, že takto striktně synonymní slova budou pospolu v jazyce těžko přežívat, jelikož je dokázáno, že jazyk tíhne k ekonomičnosti, která by takovým soužitím dvou slov byla hrubě porušena [Lot03]. Pravděpodobně jedinými obecně uznávanými synonymy jsou dvojice cizího slova a domácího slova, například *internacionální* a *mezinárodní*. Jejich záměnou se pravděpodobně nikdy pravdivostní hodnota výroku nezmění, stejně tak jako jeho gramatičnost. Stále však zůstává ve hře stylistika, která může být podobnou náhradou narušena např. z důvodu toho, že se nové slovo nehodí pro zamýšlenou cílovou skupinu čtenářů či je stylisticky příznakové (cf. *zajímavý* a *interesantní*). Lze předpokládat, že navzdory tendenci k ekonomičnosti se v jazyce synonymní výrazy vyskytují, aby bylo možné docílit stylistické uhlazenosti textu (například eliminací opakování stejných slov).

Volnější interpretace synonymie počítá ještě s kontextem. Dvě slova jsou synonymní, jsou-li nahraditelná alespoň ve stejném kontextu. Jako příklad mohou posloužit formy *board* a *plank*²³. V kontextu dřevařství mohou tyto dvě formy pravděpodobně bez problému být nahrazeny jedna za druhou, ovšem v případě, že je forma *board* použita ve významu *committee*²⁴, těžko ji lze nahradit formou *plank*, neboť by se věta obsahující takové nahrazení stala zcela nesmyslnou. [Mil⁺90] V českém kontextu mají zřejmě podobný vztah například formy *rada* a *výbor*. Slovní forma *rada* může sloužit jak ve významu rozhodovacího orgánu, což je zhruba synonymní s formou *výbor*, tak ve významu poučení (např. *upřímná rada přítele*). Opět je evidentní, že záměna forem *rada* a *výbor* v prvním významu slova *rada* (tedy rozhodovací orgán) je přijatelná, ve druhém už nikoliv (*upřímný výbor přítele*). Nutno podotknout, že forma *výbor* je také polysémní a její další významy se nekryjí s významy slova *rada*. [Hav⁺71]

Bylo by nanejvýš přirozené považovat synonymii za vztah diskrétní, tedy že dvě formy buďto synonymní jsou, či nejsou. Z logického hlediska to nepochybně z již uvedeného vyplývá, ovšem lingvisticko-filozofický náhled vycházející z poznatků skutečně užívaného

²³čes. *prkno* a *fošna*

²⁴čes. *výbor*

jazyka na tuto problematiku nahlíží poněkud odlišně. Synonymie v striktním slova smyslu je velice vzácná. Její volnější interpretace je značně častější, ale také výrazně vágnější – kontext, v němž dvě formy synonymní jsou, může být velmi široký, či naopak velice úzký. Záměna některých dvojic (či spíše obecně *n-tic*, volné synonymní řady mohou být vcelku dlouhé – *textil:1, látka:1, textile:2, plena:1, tkanina:1* [PS04]) může měnit stylistiku a význam výpovědi více či méně, přičemž ony dvě formy lze stále dle daných kritérií považovat za synonymní. Nelze tedy než vyvodit, že synonymie, minimálně z pohledu přirozeného jazyka, je jevem graduálním, a některé *n-tice* forem jsou tak svázány silnějším vztahem synonymie než jiné (laicky řečeno jsou *synonymnější* než jiné). [Mil⁺90]

Zaměnitelnost forem podporuje ještě jeden koncept, na němž je WordNet postaven, a to fakt, že jednotlivé významy jsou seskupovány podle slovních druhů. Tento systém vede k jisté redundantnosti, jelikož především v analytických jazycích, jako je kupříkladu angličtina, lze nalézt mnoho případů, kdy identická slovní forma zastupuje více slovních druhů. Významy, které taková slovní forma zastupuje (napříč slovními druhy), mohou být velice blízké, nikdy však nebudou stejné (nelze říci, že význam slovesa *run*²⁵ a substantiva *run*²⁶ je identický). Jejich záměnou by se sice nestalo vůbec nic, jelikož čtenář či posluchač textu, v němž taková záměna nastala, by automaticky formu interpretoval ve prospěch správného slovního druhu, avšak pokud by slovní druh byl nějakým způsobem „vynucen“ (nechť nyní čtenář pomine úvahy, jakým způsobem lze *vynutit* slovní druh formy), stala by se výpověď zcela negramatickou a nesmyslnou.

Jakkoliv to není přímo svázané se synonymií, je na místě poznámka o výskytu stejné formy v různých systémech. Slovo je kombinací slovní formy a významu. Slovní forma je projevem „fyzickým“, tedy je to vyřčená či napsaná instance významu. Jak je zjevné z přirozeného jazyka, nelze počítat s tím, že by zobrazení významu na formu bylo bijektivní, tedy každý význam byl namapován jedna ku jedné na slovní formu. V přirozeném jazyce může jedna forma zastupovat více významů a jeden význam může být vyjádřen více formami. Příkladem budiž slovní forma *koruna*, která může zastupovat význam měny, vrcholku stromu, vladařského odznaku etc. Druhým příkladem může být forma *kolej*, již lze interpretovat jako referenci ke stopě po voze, případně dvojici kolejnic sloužících jako vodící dráha pro dopravní prostředky a zároveň jako zařízení vysoké školy pro ubytování studentů. [Hav⁺71] Toto zobrazení jedné formy na více významů se nazývá polysémií nebo homonymií. (Obojí znamená totožnost formy pro různé významy, u polysémie však ony významy mají společný základ (byť může být velmi vzdálený), u homonymie je podobnost zcela nahodilá. [Kle02]) Uvedené příklady poslouží i k ilustraci rozdílu mezi homonymií a polysémií. U významů formy *koruna* lze vypožorovat nějaký společný prvek v tom, že bývají nahoře. *Koruna* stromu je nahoře, panovnickou *korunu* má panovník na hlavě, tedy nahoře, *koruna* jako mince zase pravděpodobně získala své pojmenování díky faktu, že na mincích bývá vyobrazen panovník s *korunou* na hlavě). Formy *kolej* jsou odlišného základu – *kolej* jako ubytovací zařízení pochází z latinského *collegium*, kdežto výraz pro dráhu je odvozen od českého *kolo*. [Rej12]

Seskupování významů podle slovních druhů a seskupování forem dle vztahu synonymie se tedy zdá v případě lexikální databáze určené pro strojové zpracování jazyka být vhodným konceptem. Oproti tradičním slovníkům se totiž počítačově zpracovávaná lexikální

²⁵čes. běžet

²⁶čes. běh

databáze nemusí potýkat s problémem lidského faktoru – jednotlivé synonymické řady je stroj schopen prohledávat, na rozdíl od člověka, vcelku účinně a nahradit tak v případě, že WordNet používá člověk, neúčinné lidské procházení rejstříkového obsahu.

1.5.2 Antonymie

Antonymie neboli protiklad je navzdory zdánlivé triviálnosti koncept překvapivě těžce definovatelný. Všeobecně se antonymií rozumí významová opozice, faktem však je, že použití tohoto termínu je velmi široké a druhů antonymie je několik. Nejjednodušším druhem je antonymie mezi adjektivy jako *živý* a *mrtvý*. Negace prvního automaticky značí druhé a naopak (je-li řeč o živých bytostech), jelikož v reálném světě neexistuje žádný další stav. Tento jednoduchý vztah však nefunguje vždy – například s adjektivy *bohatý* a *chudý* je to jiné. Mnoho lidí se nepovažuje ani za chudé, ani za bohaté, a tudíž z toho, že někdo není bohatý, automaticky neplyne to, že by byl chudý. [Mil⁺90] Zajímavé je, že tento vztah není reflexivní. Pokud někdo není bohatý, tak to nemusí znamenat, že je chudý, ale pokud u někoho platí, že *je* bohatý, tak to nutně znamená, že *není* chudý minimálně v tom ohledu, v němž je bohatý. [PW06]

Rozdíl mezi výše uvedenými dvojicemi, tedy *mrtvý:živý* a *chudý:bohatý* spočívá ve stupňovatelnosti daných adjektiv. Pro ilustraci – lze říci, že někdo je *bohatší* než někdo jiný, ale pokud nejde o přenesený význam, nelze říci, že někdo je *mrtvější* než někdo jiný. Pokud jsou adjektiva stupňovatelná, tedy lze-li říci, že objekt A je více X než objekt B, neoznačují komplementární stav, ale graduální vlastnost. Označované pak může být zařazeno kamkoliv mezi tyto dva póly, přičemž, nachází-li se v pomyslné střední šedé zóně, nelze jej označit výrazy odpovídajícími pólům gradientu. Tvzení, že někdo *není ani chudý, ani bohatý*, dává smysl, protože tato adjektiva označují extrémní stavy, mezi nimiž je prostor pro normální stav. [PW06]

Vztah antonymie je ve WordNetu koncipován tak, aby byl co nejpodobnější uvažování široké populace uživatelů jazyka, tedy užívá primitivního konceptu antonymie. Některé studie dokonce za antonymní považují výrazy pouze vágně, intuitivně protikladné, jako například *muž:žena* či *chytrý:hloupý*. [LL82]

Ve WordNetu se antonymie vyskytuje u substantiv (*man:woman*²⁷), adjektiv (*rich:poor*²⁸, a dokonce i *white:black*²⁹ v rasovém významu³⁰), verb (*open:close*³¹) i adverbii (*well:ill*³²). [Pri10]

²⁷ čes. muž:žena

²⁸ čes. bohatý:chudý

²⁹ čes. černý:bílý

³⁰ cf. také antonymní vztah *Caucasian:black*, čes. bělošský:černošský

³¹ čes. otevřený:zavřený

³² čes. dobře:zle

Kapitola 2

Další wordnety

Podle vzoru princetonského WordNetu začaly postupně vznikat i další sémantické sítě založené na stejném principu. Tyto sémantické sítě se samozřejmě svou strukturou do větší či menší míry liší, hlavním kritériem, aby mohly být považovány za wordnet, je, aby obsahovaly synsety a hyponyma. [Glob]

2.1 EuroWordNet

EuroWordNet je mezinárodní lexikální databáze pro sedm evropských jazyků (angličtina, čeština, dánština, francouzština, italština, němčina, španělština). Jde o soubor jednotlivých národních wordnetů, které jsou propojeny takzvaným mezijazykovým indexem (ILI¹). Obecně jsou wordnety EuroWordNetu založené svou strukturou na princetonském WordNetu (verze 1.5), ale z důvodu různorodosti jazyků se od něj v některých aspektech odlišují. EuroWordNet zavádí poněkud odlišné vztahy, navíc je diferencuje jemněji. [PST08]

Základní motivací pro vznik EuroWordNetu byla evropská jazyková různorodost a z ní pramenící problémy ve zpracování dat a napomáhání uživateli v přístupu k neanglickým datům. Vossen [Vos97] argumentuje, že uživatel musí umět anglicky a být obeznámen s tím, jak je zdroj, v němž vyhledává, napsán, aby byl schopen v něm účinně hledat. Vytvořením wordnetů pro jiné jazyky si slibuje, že se zlepší možnost přístupu uživatelů k neanglickým datům, možnost inference znalostí z těchto dat a případně i mezijazykové vyhledávání. Poslední je založeno na faktu, že od počátku byly jednotlivé wordnety EuroWordNetu vytvářeny s tím, že budou propojeny na základě základních konceptů (BCS²) a mezijazykového indexu.

Jelikož se jednotlivé jazyky zapojené v projektu EuroWordNetu značně odlišují ve struktuře své slovní zásoby, jsou jednotlivé wordnety nezávislé. To znamená, že se mohou odlišovat například svou hierarchizací. Stejný koncept tak může ve dvou různých wordnetech mít různá hyperonyma, meronyma etc., protože například anglické označení pro *prst* je odlišné, pokud jde o *prst na noze* (angl. *toe*), či o *prst na ruce* (angl. *finger*). Podobně má v jiném příkladu dánština odlišné označení *hlavy u zvířat*, tedy dán. *kof*, a *hlavy lidské* (dán. *hoofd*). [Vos97]

Národní wordnety jsou vzájemně propojené přes mezijazykový index s anglickým wordnetem, který je obsahově založený na princetonském WordNetu, ale není identický. Ang-

¹InterLingual Index

²Base Concept Set

Relace	Slovnědruhov kombinace	Příklad
antonymie	A-A, V-V	open:close
hyponymie	N-N, V-V	car:vehicle, walk:move
meronymie	N-N	nose:head
vyplývání ⁶	V-V	buy:pay
následek	V-V	kill:die

Tabulka 2.1: Vztahy přejaté z princetonského WN (N: substantivum, A: adjektivum, V: verbum)

lický wordnet byl strukturně přizpůsoben tak, aby byl použitelný v EuroWordNetu, tedy byly přidány metainformace a druhy vztahů (podrobněji dále). V národních wordnetech existuje několik druhů konceptů, které jsou rozlišeny podle příbuznosti s koncepty v ostatních národních wordnetech. Pokud je koncept přítomen ve všech wordnetech EuroWordNetu, jde o tzv. globální koncept (GBC³). Koncept, jenž jen přítomen v alespoň dvou národních wordnetech, je označován jako obecný koncept (CBC⁴) a v poslední řadě koncept, který se vyskytuje pouze v jednom národním wordnetu, nese označení lokální koncept (LBC⁵). [Gloa] Propojení konceptů společných pro více jazyků je zajištěno pomocí jednotných identifikátorů a mezijazykového indexu, který je nadmnožinou všech konceptů v EuroWordNetu. ILI je hierarchicky plochá struktura (proto *index*, nejde o další „všejazykový“ wordnet). [Vos97]

Jelikož v době, kdy EuroWordNet vznikal, byl princetonský WordNet poněkud omezený mimo jiné co se vztahů sémantických týče, vznikly pro EuroWordNet speciální vztahy umožňující lepší práci s významy. Základní vztahy přejaté z princetonského WordNetu 1.5 jsou uvedeny v tabulce 2.1 na straně 17.

K těmto vztahům byly přidány štítky (⁷), jež relaci konkretizují:

- conjunction/disjunction
- non-factive
- reversed
- negation

Použití konjunktivního a disjunktivního štítku spočívá v myšlence, že například u meronymie by bylo vhodné rozlišovat, zda jde o části, které dohromady tvoří celek, nebo jde o podčásti částí (např. *nůž* má meronyma *čepel*, *rukojeť*, *ostří*, ale *ostří* je ve skutečnosti meronymem až *rukojeti*, nikoliv přímo samotného *nože*).

Štítek *non-factive* je používán u kauzální relace, která nemusí být nutně naplněna:

Podobně lze upřesnit pomocí štítků další relace tak, že jsou ve výsledku jednoznačnější, a wordnet, v němž jsou takto označené vztahy obsaženy, může poskytovat více informací. Jejich použití v praxi je však značně omezené. [Ram17]

Jako další rozšíření oproti tehdejší verzi princetonského WordNetu přinesl EuroWordNet také relace mezi slovními formami, jež ve stejném tvaru náleží k více slovním druhům, a

³Global Base Concept

⁴Common Base Concept

⁵Local Base Concept

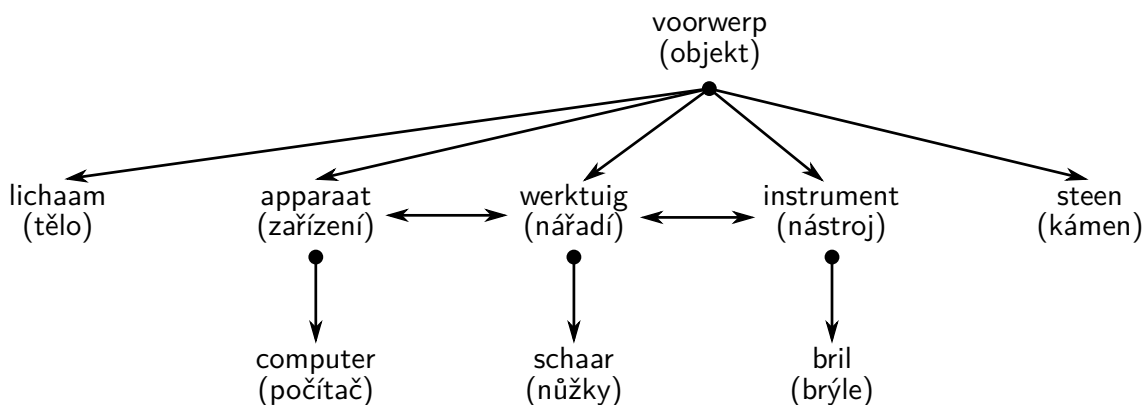
⁶angl. entailment

⁷angl. labels

příčina	vztah	non-factive?	následek	nutně vyplývá?
zabít	vyústí v	–	zemřít	ano
hledat	vyústí v	ano	najít	ne

Tabulka 2.2: Rozdíl významů relace při použití a nepoužití příznaku non-factive

rozlišení mezi úzkým a širokým vztahem synonymie a antonymie (*near_synonym*, *near_antonym*). Argument pro zavedení mezislovnědruhových relací je relativně přímočarý, a to, že umožňují „sblížit“ koncepty, které jsou si příbuzné, jen náleží k jinému slovnímu druhu. Nutno podotknout, že v době vzniku této práce je princetonský WordNet ve verzi 3.1 a obsahuje už relaci *derivationally related form*, která zajišťuje přesně toto propojení (více o synsetech v princetonském WordNetu v kapitole *Synsety a vztahy mezi nimi* na straně 10).



Obrázek 2.1: Blízká synonyma v nizozemštině (převzato z Pazienza et al. [PST08] a překlady přeloženy)

Vztahy blízké synonymie a blízké antonymie byly zavedeny pro možnost vyjádření volnější sémantické příbuznosti. [PST08] Co se vztahu blízkého synonyma týče, důvodem pro jeho zavedení byla údajně snaha mít možnost přiblížit koncepty, které jsou si významově podobné, ale pouze na své úrovni. U takových konceptů platí, že byť jejich význam je podobný, jejich hyponyma nelze zařadit pod jeden koncept, jelikož se rozdíl mezi oněmi koncepty svázanými vztahem blízké synonymie prohlubuje. Příkladem budiž trojice nizozemských slov *apparaat*, *werktuig* a *instrument*, jež si jsou významově nepřilíživě vzdálená – jak je z obrázku 2.1 na straně 18 zřejmé, všechna hyponyma slova *voorwerp* (objekt) jsou si rovna, avšak některá jsou si rovnější. Zmíněná sobě podobná tři slova jsou si navzájem významově výrazně blíží než s ostatními hyponymy na jejich úrovni. Aby bylo možno tento vztah reflektovat, a tím docílit možnosti například nahrazovat za sebe slova, která sice nemohou být ve stejném synsetu, ale jsou si podobná, byl zaveden vztah blízkého synonyma. Lze totiž předpokládat, že uživatel jazyka podobná slova také může zaměnit. [Vos97]

2.2 BalkaNet

BalkaNet je projekt zaštitěný Evropskou komisí, který začal být vyvíjen v roce 2001. Cílem BalkaNetu je vytvořit ucelený lingvistický zdroj pro méně studované balkánské jazyky.

Jde o soubor jednotlivých wordnetů pro bulharštinu, rumunštinu, řečtinu, srbštinu a turečtinu. Do projektu spadá také rozšíření českého wordnetu vytvořeného v rámci projektu EuroWordNet, a to zejména o slovesa. Při vzniku BalkaNetu byli pozváni účastníci projektu EuroWordNet z Čech a Francie, aby mohli být nápomocni s vytvořením struktury dat takové, jaká by byla kompatibilní s existujícími daty EuroWordNetu. [TCS04]

Nejvyšším cílem BalkaNetu bylo vytvořit online reprezentaci sémantických relací v jazycích balkánských států a poskytnout tak zdroj pokrývající běžnou slovní zásobu těchto jazyků. BalkaNet je tvořen wordnety, jež mají stejnou strukturu jako wordnety EuroWordNetu, aby jej bylo možné považovat díky kompatibilitě s ním za rozšíření existující práce.

Stejně jako EuroWordNet používá BalkaNet za účelem provázání jednotlivých wordnetů mezijazykový index. Na rozdíl od EuroWordNetu jej však používá mírně jinak v tom ohledu, že jsou koncepty označovány doménovými štítky⁸. Koncepty jsou tedy mezi národním wordnetem a mezijazykovým indexem provázány tak, aby zůstala zachována významová doména a předešlo se tak svazování konceptů z různých domén přes tento index. Pokud by BalkaNet byl použit jako překladový nástroj mezi dvěma obsaženými jazyky, výsledné překladové koncepty nemusí nutně být přímé překlady konceptů zdrojových, ale budou náležet do stejné konceptuální domény. [Chr⁺02] Celkově je mezijazykový index strukturalizován na rozdíl od toho v EuroWordNetu jako princetonský WordNet právě proto, aby bylo možné svazek wordnetů v BalkaNetu lépe využívat k lingvistickým účelům. [TCS04]

⁸ *domain labels*

Část II

Přehled a porovnání některých vizualizací sémantických sítí

Tato část textu je zaměřena na zmapování existujících dostupných rozhraní a jejich zhodnocení. Výčet jednotlivých rozhraní rozhodně není vyčerpávající, jelikož některé vědecké instituce mohou vyvíjet své nástroje pro práci se sémantickými sítěmi neveřejně, některé nástroje už nejsou dostupné etc. Nástroje pro vizualizaci⁹ dat wordnetů byly vybírány podle několika kritérií relevantních především pro koncového uživatele, avšak i pro případné vývojáře dalších wordnetů (tedy zda dané rozhraní mohou použít pro svá data).

⁹Terminologická poznámka: v této práci je vizualizací dat wordnetů míněna textová i grafická reprezentace.

Kapitola 3

Metodologie porovnání

3.1 Výběr rozhraní

Hlavním kritériem pro zařazení do rozhraní do výběru byla jeho dohledatelnost, ať již podle seznamu příbuzných projektů na oficiálních webových stránkách princetonského WordNetu [Pri10] (jenž je, dlužno podotknout, dosti neaktuální v tom smyslu, že uvádí velké množství rozhraní, která již nejsou dostupná) či podle dotazů na vyhledávači Google:

- wordnet visualization
- wordnet visualisation
- wordnet graph

Ačkoliv většina existujících rozhraní pracuje buďto výhradně s princetonským WordNetem, či jej jako zdroj dat nabízí jako jednu z možností, nebyl zdroj dat při výběru brán v potaz.

Z přehledu byly samozřejmě vyřazeny implementace, které k době hledání¹ už nebyly dostupné. Také nebyla zahrnuta rozhraní, která jsou funkčně podobná jiným. Do přehledu byla zahrnována především rozhraní, která jsou dostupná z webového prohlížeče, jelikož je to pro koncového uživatele nejpohodlnější způsob přístupu k aplikaci (není nucen instalovat přídatné programové vybavení na svůj počítač, kromě webového prohlížeče, který lze považovat za vcelku rozšířenou součást uživatelského vybavení). Jelikož i desktopová rozhraní (tedy rozhraní určená pro instalaci klasické počítače²) existují a mohou poskytnout cennou inspiraci i při vývoji webového rozhraní, byla některá z nich zahrnuta též.

Podstatná z hlediska hodnocení je také univerzalita, tedy zda je zdrojový kód rozhraní otevřený a je možné jej použít i pro vizualizaci jiné sémantické sítě, než pro kterou bylo rozhraní vyvinuto. Dlužno podotknout, že tato informace bývá často nedostupná; potom se v rámci této práce předpokládá, že kód otevřený není. Zmiňována bývá jen explicitní zmínka o otevřenosti kódu.

Zmiňované hodnocení záměrně není vyčísleno exaktně, jelikož každý uživatel má jiné nároky a tato práce si tedy klade za cíl pouze co nejobjektivněji zhodnotit vlastnosti jednotlivých rozhraní, nikoliv čtenáři vnuknout, že jedno rozhraní je lepší než jiné; to musí

¹duben 2017

²Terminologická poznámka: klasickým počítačem je myšleno všeobecně zařízení typu stolních počítačů, laptopů či tabletů s operačním systémem, který není určen pro mobilní zařízení. Nejde například o mobilní telefon, protože na klasických počítačích bývá provozován jiný operační systém než na mobilních telefonech.

případně zhodnotit sám na základě předkládaných faktů a svých vlastních požadavků na rozhraní.

Pro účely porovnání (určení východiska, baseline) bude do popisu zahrnuto ještě jedno rozhraní, a to oficiální vyhledávací rozhraní princetonského WordNetu.

3.2 Strukturalizace přehledu a kritéria hodnocení

Hodnocení rozhraní v kapitole *Porovnání některých rozhraní* na straně 25 je rozděleno podle toho, zda umožňují přístup z webového prohlížeče bez nutnosti instalace doplňků (například pro běh zásuvných modulů napsaných v Javě³), jsou zhodnocena jejich pozitiva a negativa z hlediska použitelnosti pro získání informací o hledaném výrazu, komfort zacházení s rozhraním a případná omezení použitelnosti na různých zařízeních.

K rozdělení podle dostupnosti bylo přistoupeno jednak proto, že v době vzniku této práce je pokročilost webových technologií dostatečná, aby podobné vizualizace byly tvořeny jako webové stránky, a jednak proto, že cílem této práce je vytvořit všeobecně dostupné a použitelné rozhraní k wordnetům. Všeobecně použitelným je míněna použitelnost nejen na osobních počítačích, ale také na mobilních zařízeních, což v podstatě vyřazuje použití technologií, jako jsou zásuvné moduly pro webové stránky napsané v Javě či využívající Flash⁴ používané k realizaci různých existujících rozhraní (příkladem budiž Visual Editor využívající Javu).

Rozhraní nikoliv webového charakteru, která jsou rozebrána v této práci, jsou popisována poněkud povrchněji a měla by při interpretaci hodnocení být značně penalizována. Uživatel mající zájem takové rozhraní použít, je totiž nucen instalovat například aplikační rozhraní Java, pokud jej nemá, či, v případě aplikací určených přímo pro operační systémy klasických počítačů, instalovat rozhraní samotné. V některých případech těchto aplikací je k nim ještě nutno instalovat datové soubory příslušného wordnetu, s nímž má aplikace pracovat. Dalším důvodem k penalizaci newebových rozhraní je také fakt, že nejsou přímo spustitelná na mobilních zařízeních. Pro některé platformy možná existuje několik cest, jak aplikaci napsanou v Javě na některých mobilních operačních systémech spustit (například na Android [Him14], u ostatních je podpora slabší či žádná ([Ama13; Giz12] inter alia), lze však předpokládat, že použitelnost minimálně grafických vizualizací wordnetu bude na zařízeních s malou obrazovkou poněkud omezená. Navíc jejich transformace do formy nativních mobilních aplikací může být obtížná. Jednak kvůli nutnosti rozhraní pro jednotlivé platformy tvořit zvlášť, způsobem příslušným konkrétnímu operačnímu systému [Gro⁺14], jednak proto, že mobilní zařízení mají různé menší velikosti obrazovky, k čemuž přirozeně nejsou rozhraní určená pro velké obrazovky klasických počítačů příliš přizpůsobena. Nicméně existují nástroje, které mohou proces vývoj multiplatformních aplikací napsaných v Javě usnadnit. [Ora17]

K hodnocení rozhraní bylo přistoupeno na základě několika kritérií. Cílem je porovnat jejich přínos v kontextu ostatních existujících rozhraní a v kontextu současných trendů webových aplikací a ilustrovat, s jakými problémy se všeobecně rozhraní potýkají. Z tohoto důvodu nebyla do přehledu zařazována rozhraní, která se podobají svou funkcionalitou a ovládáním rozhraním již zařazeným.

³<https://docs.oracle.com/javase/tutorial/deployment/applet/>

⁴<http://www.adobe.com/products/flashruntimes.html>

Kritéria hodnocení v této práci jsou následující:

- přínos oproti základnímu oficiálnímu rozhraní princetonského WordNetu
 - originální vizualizace dat vedoucí k možnosti identifikovat trendy v datech, která zůstávají uživateli skryta v případě základní textové reprezentace dat
 - reprezentace dat vhodnější z hlediska zásad přístupnosti webu⁵
- responzivita rozhraní – kvalitní použitelnost rozhraní i na zařízeních s menší obrazovkou, jako jsou mobilní zařízení typu chytrý telefon či tablet
- v případě webových aplikací ukládání stavu aplikace v adresním řádku prohlížeče (umožňuje sdílení nebo založení odkazu ke konkrétnímu hledání a zachování nastavení aplikace)

3.3 Podmínky testování

Pro testování rozhraní, které bylo pro účely této práce provedeno, byl použit stolní počítač s monitorem disponujícím rozlišením 1920×1080 px, operační systém Ubuntu 16.04 LTS v 64bitové verzi, webový prohlížeč Pale Moon ve verzi 27.1.1 (rovněž 64bitový) s nastaveným uživatelským agentem na Firefox (z důvodů kompatibility). Ačkoliv se počítalo, vzhledem k nepříliš rozšířenému vykresovacímu jádru použitého prohlížeče Pale Moon, s možnými problémy v zobrazení některých rozhraní, nebyly tyto zjištěny, a tak nebylo nutné provádět testování rozhraní ještě v dalších prohlížečích. Lze předpokládat, že v rozšířených prohlížečích, jako jsou Firefox či Chrome, budou jednotlivá rozhraní fungovat a vypadat podobně jako v prohlížeči Pale Moon (u některých bylo provedeno kontrolní testování a skutečně nebyla funkcionální změněna). Pro testování aplikací určených pro běh na JVM byl použit na výše zmíněném systému virtuálně spuštěný 64bitový operační systém Ubuntu Budgie 17.04 a Java ve verzi 1.8.0_131.

Testování na mobilním chytrém telefonu bylo prováděno na zařízení Nexus 5 (displej s úhlopříčkou 5 palců a rozlišením 1920×1080 px) s operačním systémem Android 6 v prohlížeči Chrome (sestavení 57.0). Možnost *request desktop site*čes. *verze webu pro PC* byla nastavena na *vypnuto*.

⁵web accessibility

Kapitola 4

Porovnání některých rozhraní

Do přehledu byla zahrnuta rozhraní uvedená níže:

4.1	Vizualizace s webovým rozhraním	25
4.1.1	WordNet Search jako základ porovnání	25
4.1.2	An interactive visualization of the Princeton WordNet database .	26
4.1.3	WordNET Editor	28
4.1.4	Cornetto Demo	30
4.1.5	WordVis	33
4.1.6	sloWTool	35
4.1.7	BabelNetXplorer	37
4.2	Vizualizace v aplikačním prostředí Java	39
4.2.1	wnbrowser	39
4.2.2	Treebolic	41
4.2.3	Visual Browser	42
4.3	Aplikace pro klasické počítače	44
4.3.1	Artha	45
4.3.2	GoldenDict	46

4.1 Vizualizace s webovým rozhraním

Jak bylo naznačeno v úvodu této části, vizualizací s webovým rozhraním se v této práci míní taková implementace, která ze strany uživatele nevyžaduje instalaci žádných doplňujících aplikací či aplikačních prostředí (např. Javy), kromě samotného webového prohlížeče.

4.1.1 WordNet Search jako základ porovnání

Oficiální rozhraní k princetonskému WordNetu, dostupné z <http://wordnetweb.princeton.edu/perl/webwn>, je koncipováno jako textová reprezentace dat, přičemž, byť volitelně, umožňuje zobrazovat veškeré informace relevantní k hledanému výrazu, jež WordNet obsahuje. Data jsou vizualizována jako soubor seznamů.

Po vyhledání zadaného výrazu jsou uživateli v bodech prezentovány jednotlivé synsety obsahující hledanou slovní formu, rozdělené podle slovních druhů, k nimž přináležejí.

V základním nastavení každý bod sestává ze slovních forem tvořících daný synset, jeho definice, případného příkladu užití a odkazu na detaily synsetu. Kliknutím na tento odkaz se zobrazí v podseznamu sémantické a lexikální relace, v nichž je daný synset přítomen. Samotné relace jsou opět odkazy, jejichž otevřením je uživateli prezentován seznam synsetů, které jsou spolu s daným synsetem v dané relaci přítomny. Postupným otevíráním detailů synsetů v podseznamech se lze zanořovat hlouběji a hlouběji do struktury, resp. se ve struktuře vzdalovat původnímu synsetu po hranách relací.

Uživatel má možnost si zvolit množství informací, jež jsou mu prezentovány, a to od úplného minima (pouze slovní formy nalezených synsetů a jejich syntaktické kategorie) až po vše, co se ve WordNetu vyskytuje, včetně identifikátorů a dalších technických detailů. Rozhraní svůj stav ukládá jako parametry URL¹, takže je možné stav z URL později obnovit.

Rozhraní není responzivní, ale vzhledem k tomu, že je v základu relativně úzké (pod 700 px), je na chytrém telefonu použitelné. Vzhled rozhraní je ilustrován na obrázku 4.1 na straně 27.

Podobnou funkcionalitu a způsob zobrazení dat jako WordNet Search mají i některá další rozhraní. Za zmínku stojí například WNSearch², což je minimalistické čistě textové rozhraní, které je díky absenci jakýchkoliv stylů responzivní a dobře použitelné na mobilních zařízeních s libovolně velkým displejem. Mezi další rozhraní s podobnou funkcionalitou patří URCS Wordnet Browser (spustitelné s Javou)³ či GoldenDict (rozhraní pro klasické počítače především s operačním systémem Windows)⁴.

4.1.2 An interactive visualization of the Princeton WordNet database

An interactive visualization of the Princeton WordNet database, dostupný z <http://mateogianolio.com/wordnet-visualization/>, je jeden z projektů programátora Matea Gianolia. Jde o jednoduché rozhraní napojené na princetonský WordNet, které po zadání hledaného výrazu zobrazí synsety obsahující daný výraz. Jednotlivé synsety jsou barevně odlišeny podle syntaktických kategorií (slovních druhů), k nimž náležejí, a uspořádány kruhově kolem hledaného výrazu. Z každého synsetu je vždy zobrazena jen první slovní forma. Pokud uživatel najede kurzorem myši na některý ze synsetů, zobrazí se další případné slovní formy náležející do daného synsetu a jeho glosa (definice), je-li dostupná. Vzhled rozhraní je ilustrován na obrázku 4.2 na straně 28

Další slovní formy v nalezených synsetech jsou klikatelné, což umožňuje dostat se přes ně na synsety obsahující onu slovní formu, na níž bylo uživatelem kliknuto (s identickým výsledkem, jako kdyby dané slovo uživatel zadal do vyhledávacího pole).

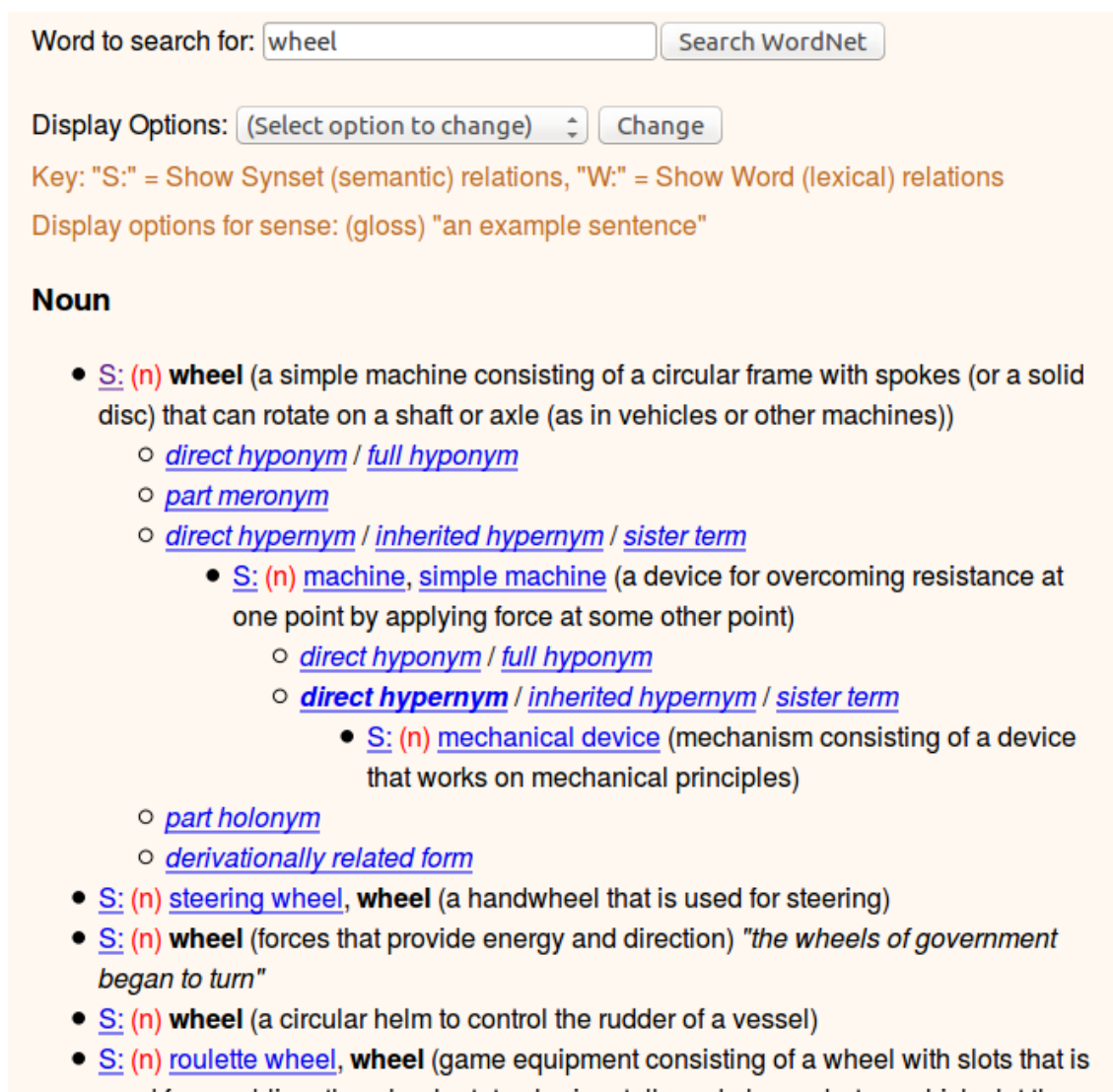
Ačkoliv úvodní odstavec na stránce s rozhráním vybízí uživatele k „prozkoumání de-sambiguace slov“ [Gia], zobrazují výsledky hledání pouze synsety a slovní formy do nich náležející, přičemž synsety připojené sémantickými vztahy hyponymie, meronymie etc. nejsou zobrazitelné (jinak než případným náhodným výskytem jedné slovní formy ve více synsetech). To WordNet omezuje na obyčejný tezaurus.

¹unikátní adresa stránky (*Uniform Resource Locator*), obvykle se zobrazuje v adresním řádku prohlížeče

²<http://www.golovchenko.org/cgi-bin/wnsearch>

³<http://www.cs.rochester.edu/research/cisd/wordnet/>

⁴<http://goldendict.org/>



Obrázek 4.1: Ukázka rozhraní WordNet Search 3.1 v základním nastavení a s některými otevřenými detaily u synsetu

Samotný design grafického rozhraní je řešen poněkud nešťastně a působí dojmem, že cílem autora bylo prokázat své schopnosti používat různé standardní vizuální transformační funkce. Pro indikaci běžícího procesu vyhledávání byl použit efekt animace rotujícího vyhledávacího pole a po dokončení vyhledávání jsou výsledky zobrazeny paprskovitě okolo vyhledávacího pole. To způsobuje, že některé texty jsou zobrazeny pod úhlem až 90 stupňů, což výrazně zhoršuje jejich čitelnost.

Rozhraní není tzv. responzivní, tedy nepřizpůsobuje se velikosti obrazovky, na níž je zobrazeno. To komplikuje jeho použití na zařízeních s malou obrazovkou, kupříkladu mobilním telefonu.

Toto rozhraní poskytuje velice omezený přístup k datům WordNetu a neposkytuje žádné výhody oproti základnímu oficiálnímu rozhraní k princetonskému WordNetu. Jeho grafické pojetí je čistě arbitrární, neslouží žádnému účelu a naopak zhoršuje jeho použitelnost.

An interactive visualization of the Princeton WordNet database.

Explore a word's disambiguation by using the box in the middle or by clicking on shown words. Mouse over to see glossary and synonyms.

Words are color coded according to parts of speech:

adjective noun verb adverb



Obrázek 4.2: Ukázka rozhraní An interactive visualization of the Princeton WordNet database

4.1.3 WordNET Editor

Webová aplikace WordNET Editor, dostupná z <http://wordventure.eti.pg.gda.pl/wne/wne.html>, byla vytvořena s cílem poskytnout internetové komunitě praktický a účinný nástroj pro rozvoj WordNetu. Její autoři, Szymański et al. [SDB07], argumentují, že vývoj WordNetu vyžaduje velké množství lidské práce, a je proto důležité jej tvořit tak, jako je tvořena například internetová encyklopedie Wikipedia, což znamená spolupráci nezávislých uživatelů. K tomu je však potřeba nástroj, který takovou spolupráci umožní, což podle nich oficiální nástroje princetonského WordNetu nejsou (mimo jiné pravděpodobně proto, že WordNet byl vyvíjen uzavřenou skupinou lidí [Fel05]). Vedle editoru vztahů a synsetů však obsahuje WordNET Editor i prohlížeč wordnetu, díky němuž bylo rozhraní do tohoto přehledu zařazeno. Data, jež aplikace používá, jsou verzí princetonského WordNetu odvětvenou v jeho verzi 2.1. [SDB07]

Rozhraní je rozděleno do levého sloupce a pravého (většího) „plátna“, jež slouží ke grafickému vyobrazení vztahů. Po vyhledání zadaného výrazu nabídne aplikace uživateli seznam synsetů, v nichž se výraz nachází. Nabídka synsetů je klikatelná a uživateli je po zvolení synsetu prezentováno grafické vyobrazení daného synsetu se všemi jeho vztahy. V levém sloupci si pak uživatel může vybírat další synsety, které chce do pravé sekce

přidat, může také otevírat dvojklikem již zobrazené synsety a v nastavení lze filtrovat, které vztahy a slovní druhy se mají zobrazovat. Aplikace však neobsahuje intuitivní způsob jak zobrazené synsety z plátna vpravo odebírat a při otevírání dalších synsetů plátno nepřepisuje, ale synsety přidává k již zobrazeným (neprovázaně). To může vést ke značné nepřehlednosti reprezentace, avšak aplikace umožňuje přibližování a oddalování plátna a vizuální přesouvání zobrazení po plátně, což s jistým úsilím uživatele nepřehlednost může eliminovat. Také je nutno vytknout absenci textového pojmenování vztahů mezi synsety. Barevné rozlišení je v tomto případě nevhodně zvolené, jelikož vztahů je v rozhraní hodně a některé barvy jsou obtížně odlišitelné.

Grafické zobrazení vztahů mezi koncepty je řešeno hvězdčovitě, přičemž ve středu je synset, jenž byl výsledkem hledání, nebo na něj bylo kliknuto, a od něj jsou vedeny hrany představující vztahy k příbuzným synsetům. Zajímavý je originální koncept zobrazení synsetů příbuzných k hledanému (otevřenému) synsetu. Ten je v grafu reprezentován svými členskými slovními formami, ale příbuzné koncepty jsou reprezentovány svými definicemi. Trochu na závadu však je, že se nedá (minimálně v prohlížečím režimu) zobrazit detail příbuzného synsetu a uživatel se dozví pouze jeho definici, nikoliv slovní formy do něj náležející. Jediný detail, který je uživateli dostupný, je u některých synsetů obrázek (o jeho zdroji se však v rozhraní nepíše). Vzhled rozhraní je ilustrován na obrázku 4.3 na straně 29



Obrázek 4.3: Ukázka rozhraní WordNET Editor: zvolený synset ve středu grafu a zobrazený obrázek k příbuznému synsetu

Test chování tohoto rozhraní na mobilním zařízení nebyl proveden, jelikož je zjevné, že je určeno především k editacím a podle toho je také navrženo. Rozhraní poskytuje grafický náhled na strukturu dat, ale kvůli nevhodnému kódování vztahů do barev a nezobrazování dostatečného množství informací je jeho ovládání neintuitivní. Nutno podotknout,

že rozhraní tak, jak je vyobrazeno v Szymański et al. [SDB07], vypadá značně odlišně a například obsahuje pojmenované vztahy.

Podle webové stránky projektu Szymański; Chodor [SC] je rozhraní vyvinuto s otevřeným zdrojem, pro jeho obdržení je však nutno kontaktovat vývojáře. Lze ale předpokládat jeho použitelnost i pro ostatní wordnety.

4.1.4 Cornetto Demo

Cornetto Demo, dostupný z <http://cornetto.clarin.inl.nl/wordnet.xml>, je prohlížeč pro nizozemský wordnet a jako jedno z mála dostupných webových aplikací kombinuje grafickou a textovou vizualizaci dat. To je dáno zřejmě mimo jiné tím, že Cornetto Demo není pouze rozhraním pro wordnet, ale kombinuje data ze dvou zdrojů. Jednak z Referentie Bestand Nederlands, jednak z nizozemského wordnetu. Referentie Bestand Nederlands je slovník obsahující informace strukturované podobně jako FrameNet [FBS04] spolu s rozšířením o kombinatorickém chování slov v určitém významu [HVR08].

Rozhraní je rozděleno na tři moduly, základní vyhledávání, pokročilé vyhledávání a vizualizace synsetů.

Základní vyhledávání slouží k prostému vyhledávání lexikálních jednotek. Dotaz je možné základním způsobem omezovat či rozšiřovat, a to pomocí zástupných znaků (*, ?⁵) a volby slovních druhů, v jakých se má vyhledávat. [Cor]

Pokročilé vyhledávání umožňuje v nizozemském wordnetu najít lexikální jednotky, které mají společné specifické parametry. Jako kritéria pro vyhledávání lze zvolit kterékoliv kombinace všech příznaků, jež jsou ve wordnetu u lexikálních jednotek přítomny. Takto je možné například vyhledat všechna slovesa, která jsou řazena do domény tance a jsou označena jako archaická.

Pokud hledaný výraz či zvolená kritéria odpovídají některým slovům vyskytujícím se v databázi, je uživateli prezentován seznam nalezených jednotek, přes nějž se kliknutím na konkrétní jednotku lze dostat na její detail. Tyto podrobnosti jsou textovou reprezentací dostupných dat, tedy syntaktických a sémantických informací o vyhledaném slově (nutno podotknout, že značná část informací v této části pochází spíše Referentie Bestand Nederlands, nikoliv z wordnetu) a hierarchického zařazení konceptu, do něž slovo patří, ve wordnetu. Hierarchické zařazení je vyvedeno ve formě podobné tradičnímu znázornění adresářového stromu a obsahuje, zřejmě z úsporných důvodů, pouze přímé nadřazené a přímé podřazené koncepty a v rozhraní chybí úplné zobrazení cesty od kořene wordnetu k zobrazenému synsetu. I tak může strom být relativně dlouhý vzhledem k tomu, že u obecných hyperonym bývá seznam hyponym rozsáhlý.

Z odkazů v hierarchii lze kliknutím na ikonu wordnetu u synsetu přejít do vizualizačního režimu, čímž se zobrazí grafické znázornění daného synsetu.

Modul vizualizace synsetů je v praxi pouze zobrazovací nadstavbou zbytku rozhraní, jelikož jeho vyhledávání se od základního vyhledávání liší pouze tím, že vybírá jeden nalezený výsledek a rovnou jej zobrazí graficky. Který výsledek se má vybrat, je možné zvolit při inicializaci hledání. Je tak eliminována nutnost zvolit synset, otevřít jeho detaily

⁵příčemž hvězdička (*) zastupuje posloupnost zřejmě alfanumerických znaků, otazník (?) zastupuje jeden kterýkoliv takový znak

Simple Search

Advanced Search

Synset Visualization

Help

Simple Search

Matching Lexical Entries

Selected LE

Related LE or Synset

Details of Related Lexical Entry (rad-n-2)




General		Word Forms			Sense	
Lemma:	rad	Form	Art.	Number	Definition:	wiel v.e. voertuig
Part of Speech:	noun	rad	het	singular		
Morpho-syntax:	n	raderen	de	plural		
		raden	de	plural		

Semantics		Syntax	Relations
Countability:	count	(No syntactics)	(No sense relations)
Reference:	common		(No form relations)
Semantic Type:	artefact		

Examples

Type/Phrase	Canonical Form
freeCombination / np	de raderen van een treinstel/fiets

Hierarchy

-  [schijf-n-1](#)
-  [rad-n-2](#) [wiel-n-1](#)
-  [loopwiel-n-1](#)

Obrázek 4.4: Ukázka rozhraní Cornetto Demo: textová reprezentace dat

a kliknout na výše zmíněnou ikonu, aby se uživatel dostal na grafické znázornění daného synsetu, jedná se však pouze o zkratku v rozhraní, jež nezavádí nic nového.

Samotná vizualizace je realizovaná pomocí knihovny D3.js, jež je určena pro vizualizaci dat na webových stránkách pomocí technologií HTML, CSS a JavaScript⁶ [Bos]. Cornetto Demo umožňuje uživateli prohlížet všechny synsety svázané s vyhledaným synsetem některým vztahem. Zobrazení rozlišuje syntaktické kategorie i sémantické vztahy barevně, přičemž vztahy jsou navíc ještě popsány slovně. Autoři použili rozšířený model vizualizace synsetů tak, že synset je představován uzlem, k němuž vede sémantický vztah, a z tohoto uzlu pak vedou nepojmenované hrany představující vazbu slovní formy na daný synset (tedy v zásadě vztah synonymie). Tento způsob je alternativní k zobrazení, v němž sémantické vztahy vedou k jednotlivým slovním formám a není přitom na první pohled zřejmé, které navázané formy jsou součástí kterých synsetů. Pokud k jednomu synsetu vede více sémantických vztahů, je tento synset v grafu zobrazen vícekrát, pro každý vztah zvlášť. Zde použité zobrazení vhodně omezuje množství hran, které jsou nutné k vykreslení grafu, byť možná na úkor srozumitelnosti pro neznalého uživatele, jelikož body označující synset a hrany vedoucí od synsetu ke slovní formě nejsou nijak označeny (kromě informačních bublin u synsetů). Všechny uzly mají přiřazenou vlastní legendu ve formě informační bubliny, která obsahuje například definici, příklady, slovní druh či identifikátory. Vizualizaci je možné kolečkem myši přibližovat a oddalovat a tažením myši se po zvětšeném grafu přesouvat. Funkčnost přibližování je poněkud diskutabilní, jelikož se při jejím použití nemění proporce zobrazovaných informací (cf. elektronické mapy na WWW, například

⁶více o těchto technologiích v kapitole *Použité technologie* na straně 56

Rozhraní je nepříteli responzivní (velikost okna se přizpůsobuje jen do určité šířky a výšky), takže na mobilním zařízení je nepohodlné jej používat, byť to není nemožné. Šířka bloku s informacemi je natolik velká, že je při čtení textu nutné horizontální rolování, což se považuje z hlediska použitelnosti webové stránky za velmi negativní [Nie05; RH04]. Reprezentace grafem je vzhledem k ovládání, které používá, ještě hůře použitelná. Dotyk prstem do plochy s vykresleným grafem je totiž zároveň interpretován jako rolování celé stránky a zároveň jako tažení plátna s grafem do stran, které je běžně prováděno tažením myši po plátně. Přibližování a oddalování grafu, nikoliv celé stránky, v testovacím prostředí nebylo možné vůbec, ale vzhledem k vlastnostem této funkce popsaným výše to použitelnost nijak neomezuje. Co v mobilním testovacím prostředí v podstatě nefungovalo, byly informační bubliny u slov, jež se normálně zobrazují nad slovy; zde se zobrazovaly zcela mimo inkriminované slovo a částečně mimo zobrazovanou plochu.

32

Oproti základnímu rozhraní WordNet Search 3.1 přináší toto rozhraní přehlednější textovou reprezentaci dat spojenou s vizualizací vztahů vyhledaného synsetu. Textové rozhraní však zobrazuje omezené množství informací z wordnetu a soustřeďuje se především na data ze slovníku Referentie Bestand Nederlands. Vztahy mezi slovy jsou zobrazovány pouze v grafické reprezentaci dat, což vzhledem k její nepříliš vysoké použitelnosti na mobilních zařízeních s menší obrazovkou může být omezující. Rozhraní uchovává svůj stav podrobně v URL a umožňuje jej z ní plně obnovit.

4.1.5 WordVis

WordVis, dostupné z <http://wordvis.com>, je rozhraní zaměřené na vizualizaci dat princetonského WordNetu grafem. Sestává z vyhledávacího pole, levého sloupce s výběrem synsetů a z plátna, na němž je vykreslen graf vztahů zvoleného synsetu nebo slovní formy.

Ačkoliv to na první pohled uživateli nemusí být zřejmé, vizualizace funguje ve dvou režimech. První je zobrazení slovní formy a synsetů, v nichž se tato slovní forma vyskytuje, druhé je zobrazení synsetu jako centrální jednotky a vztahů a slovních forem, které k danému synsetu patří. První zobrazení je užíváno například při prvotním zobrazení výsledků hledání. Vizualizace zobrazí ve středu grafu vyhledanou slovní formu a připojí k ní nepojmenovanými hranami synsety, jež danou slovní formu obsahují. Pokud pak uživatel zvolí kliknutím myši některý konkrétní synset, zobrazí se ve středu vizualizace jeho značka, k níž jsou pojmenovanými hranami představujícími sémantické vztahy připojeny další synsety. Stejně jako v prvním zobrazení, i v tomto se slovní formy náležející k určitému synsetu připojují nepojmenovanými hranami jako textové uzly. Pokud jedna slovní forma náleží k více synsetům (např. substantivum *bicycle*⁸ a sloveso *bicycle*⁹), je v grafu její textový uzel pouze jednou a vedou od něj dvě nepojmenované hrany k náležitým synsetům.

Hrany mezi synsety jsou orientované (znázorněné jako šipky) a k jejich pojmenování zvolil autor sémantické významy daných vztahů, tedy např. hyperonymie je značena slovem *is*¹⁰; např. *apple tree is fruit tree*¹¹.

Vzhled rozhraní je ilustrován na obrázku 4.6 na straně 34

Vyhledávací formulář umožňuje filtrování výsledků hledání podle slovních druhů a typů vztahu. Graf je navíc aktualizován v reálném čase podle toho, jak jsou podmínky filtrování uživatelem měněny. Nevýhodou je absence funkcí *vybrat vše* a *nevybrat nic*, která je citelná zvláště v případě, že uživatel chce vybrat pouze jeden druh relace (kterých je mnoho, tudíž odebrání všech relací z výběru kromě jedné může být časově náročné). Hledání také nabízí funkci napovídání poté, co uživatel zadá několik znaků z počátku slova. To umožňuje vybrat hledané slovo z nabídky a ušetřit několik úhozů, což je zvláště užitečné u delších slov či pro uživatele, který nevyhledává ve svém rodném jazyce a není si jist pravopisem hledaného slova.

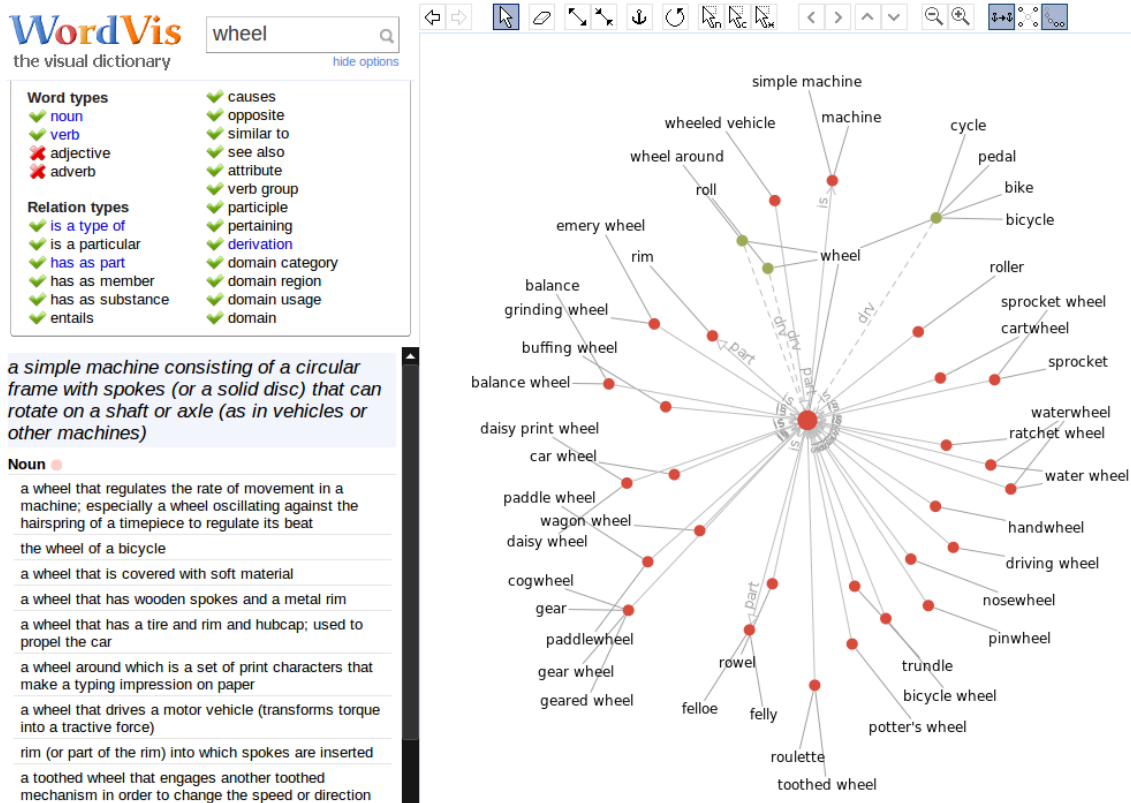
Technologicky je vizualizace řešena javascriptovou knihovnou, jež vykresluje graf na plátně v HTML5, což je metoda generování grafiky na webových stránkách [W3Sb]. Uspořádání prvků na plátně je řešeno modelováním fyzikálních vlastností našeho světa. Jednotlivé uzly na plátně mají definováno, že se navzájem odpuzují (podobně jako elektrony),

⁸čes. jízdní kolo

⁹čes. jet na jízdním kole

¹⁰angl. je

¹¹angl. jablono je ovocný strom



Obrázek 4.6: Ukázka rozhraní WordVis (po zvolení konkrétního vyhledaného synsetu)

naopak vazby mezi nimi fungují jako pružiny, jež mají nějakou ideální délku, v níž se snaží setrávat. Díky těmto dvěma soupeřícím silám jsou body na plátně rozmístěny tak, aby využívaly prostor co nejúčinněji. Hrany navíc mohou mít zadanou preferovanou orientaci, což umožňuje orientovat například hyperonymní synsety směrem nahoru, hyponymní směrem dolů etc. [Ver10] Vzhledem k tomu, že v prostředí zřejmě neexistuje žádná penalizace za křížení hran, je relativně běžné, že se hrany překříží. To značně snižuje přehlednost výsledného grafu, vzhledem k tomu, že pak není jasné, zda jsou hrany překříženy z nějakého hlubšího důvodu (například jedna slovní forma náležejíci k více synsetům), či nikoliv.

Knihovna vykreslující graf jej umožňuje uživateli modifikovat tažením jednotlivých uzlů myší, prodlužovat či zkracovat hrany a podobně. V aplikaci pro zobrazení dat z Word-Netu toto pravděpodobně nehraje příliš zásadní roli a přítomnost této funkcionality je zřejmě dána tím, že knihovna ji zajišťující je určena pro co nejširší použití a snaží se být univerzální. [Ver10]

Rozhraní je neresponzivní a na mobilním zařízení je nutné k zajištění čitelnosti textů na stránce obsah přiblížit, což vede k nutnosti rolovat jak vertikálně, tak horizontálně. To má dopad na použitelnost webové stránky na mobilních zařízeních s malou obrazovkou [Nie05; RH04]. Také není možné využít funkcionality přesouvání prvků na plátně, což ale při použití na vizualizaci dat z wordnetu není velkým omezením funkčnosti. Co se udržování stavu aplikace v URL týče, je implementováno pouze čtení parametru q ¹², zpětně do něj ale už zapisováno není. Odkazy na synsety na levé straně tento parametr obsahují, stejně

¹²odvozeno od *query*, angl. dotaz

tak jej lze zkopírovat přes kontextové menu pro každý uzel v rozhraní, takže teoreticky je možné obnovit kterýkoliv stav aplikace, byť dostupnost této funkcionality není příliš intuitivní.

Přínos tohoto rozhraní tkví především v relativně přehledné vizualizaci dat princetonského WordNetu, nutno však podotknout, že kvůli některým svým vlastnostem nemusí pro nezkušeného uživatele být zpočátku zcela jednoduše použitelné a dobře přehledné (např. kvůli zmíněnému křížení hran).

Na knihovně, na níž je toto rozhraní postaveno, stojí ještě některá další rozhraní k princetonskému WordNetu, například VisuWords¹³ či Visual Thesaurus¹⁴. Ta nebyla do hodnocení v této práci zahrnuta, protože jsou funkčně podobná rozhraní WordVis.

4.1.6 sloWTool

Rozhraní sloWTool, dostupné z <http://nl.ijs.si/slowtool>, bylo vyvinuto pro potřeby slovinského wordnetu, jenž je založen na princetonském WordNetu a vznikl zkombinováním několika zdrojů, například Wikipedia, dvojjazyčných slovníků či paralelních korpusů. Je víceúčelovým nástrojem, který umožňuje textovou reprezentaci, vizualizaci a editaci dat z wordnetu. V době psaní této práce v něm bylo podle rozbalovací nabídky vedle vyhledávacího pole možno pracovat s anglickým, francouzským, polským a slovinským wordnetem, testováno bylo rozhraní s anglickým. Tvůrcům sloužilo rozhraní k revizím slovinského wordnetu po tom, co byl rozšiřován automatickými nástroji. [FNE12] Cílem při vývoji tohoto rozhraní podle Fišer; Novak [FN11] bylo překonat nevýhody tehdejších dostupných rozhraní a vyvinout nástroj, který by mezi jiným umožňoval prohlížení i editaci, spolupráci mnoha autorů včetně anonymních editací (záměr tvůrců byl využít náhodných návštěvníků k opravování chyb, jež ve wordnetu naleznou) či možnost jednoduché registrace uživatelů. Mezi dalšími podmínkami byla možnost přidávání dalších wordnetů do systému a s tím spojená schopnost rozhraní zobrazovat vícejazyčná data. V neposlední řadě se autoři v kontextu tehdejších nástrojů snažili zaměřit na platformní nezávislost a přenositelnost rozhraní.

Rozložení stránky je vzdáleně podobné základnímu oficiálnímu rozhraní k princetonskému WordNetu, a to v tom smyslu, že neobsahuje relativně rozšířený levý sloupec na výběr synsetů, ale jednotlivé významy, které jsou nalezeny po zadání hledané slovní formy do vyhledávacího pole, seskupuje do sekcí v hlavním bloku spolu s textovou reprezentací dat. Vyhledávací pole podporuje napovídání z databáze existujících slovních forem, podobně jako v rozhraní WordVis, což může usnadnit práci s vyhledáváním. V textové reprezentaci rozhraní zobrazuje zřejmě všechny dostupné informace o synsetech, tedy se chová podobně jako základní rozhraní princetonského WordNetu, je-li nastaveno tak, aby nefiltrovalo žádné informace. U jednotlivých vztahů, v nichž je daný synset přítomen, je možné kliknutím na ikonu šipky otevřít synset nacházející se pomyslně na druhé straně daného vztahu (např. *bicykle*¹⁵ má meronymum *saddle*¹⁶, takže lze otevřít detail synsetu *saddle*). To trpí stejným neduhem, jako základní rozhraní princetonského WordNetu, to jest, že lze ve smyčce otvírat nadřazený a podřazený synset a stále se zanořovat do

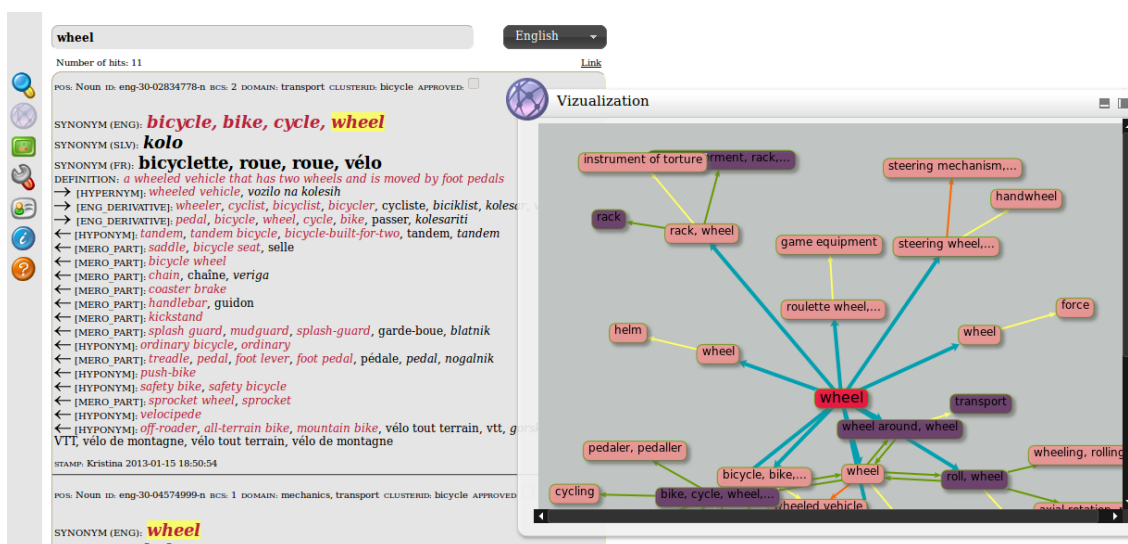
¹³<https://www.visuwords.com>, <https://www.linux.com/news/visuwords-wordnet-goes-graphical>

¹⁴<https://www.visualthesaurus.com>

¹⁵angl. jízdní kolo

¹⁶angl. sedlo

Vizualizace, modul z hlediska této práce nejpodstatnější, je určena k zobrazení grafické interpretace vztahů vyhledaných synsetů. Na rozdíl od ostatních rozhraní tato vizualizace zobrazuje všechny vyhledané synsety (s kořenem grafu označeným červeně a s textem hledaného výrazu) a neumožňuje jejich další filtrování v zobrazení. Také nepodporuje, kromě přesouvání prvků na plátně a zvýraznění příslušného synsetu v hlavním bloku textové reprezentace poté, co je na něj ve vizualizaci kliknuto, žádnou formu interakce. Pro srovnání, u ostatních vizualizací lze narazit například na informační bubliny, jež zobrazí podrobnosti jednoho prvku. Pokud uživatel potřebuje zobrazit vizualizaci jednoho konkrétního synsetu, je nucen použít pokročilé vyhledávání a vyhledat daný synset nejlépe podle jeho identifikátoru, který je vždy unikátní. Vizualizace je zatížena také dalšími problémy, jako jsou nedostatečné možnosti přizpůsobování velikosti zobrazovací plochy (zvětšování okna je podporováno, ale plátno s grafem zůstává konstantně velké), občasnou desynchronizací obsahu vizualizace s výsledky hledání, náročností na uživatelské technické vybavení počítače (především výpočetní jednotku) a značnou nepřehledností způsobenou nedostatečně či nevhodně řešenou penalizací překrývání prvků na zobrazovací ploše. Vzhled rozhraní je ilustrován na obrázku 4.7 na straně 36.



Rozhraní je svými možnostmi zprostředkování informací z wordnetu poměrně inovativní, reálná použitelnost ovšem trpí zmíněnými nedostatky a odchyluje jej tím od pů-

¹⁷Document Object Model, model objektů v dokumentu

vodního záměru autorů, který minimálně zčásti zůstává nenaplněn. Je sice pravdou, že *s aplikací je možné pracovat v každém moderním přehlížeči, ať už na počítači, tabletu, či dokonce mobilním telefonu* [FN11], nutno ale podotknout, že rozhraní je zcela neresponzivní a jeho ovládací prvky jsou zcela nevhodné pro ovládání na menší obrazovce a dotykem.

Stav aplikace lze do jisté míry uložit pomocí odkazu *Link*, který vede na adresu, z níž lze obnovit hledané slovo (konfiguraci otevřených nástrojů však už nikoliv, ta se ukládá zřejmě zvlášť, pravděpodobně do souborů cookies).

Navzdory všem nedostatkům této aplikace je nutno uznat, že se svou univerzalitou a funkcionalitou značně přibližuje rozhraní, které je praktickým cílem této práce.

SloWtool bylo vytvořeno pod licencí Creative Commons¹⁸ a jeho zdrojový kód je dostupný na platformě pro aplikace s otevřeným zdrojem Launchpad¹⁹. [FN11]

4.1.7 BabelNetXplorer

BabelNet, dostupný z <http://babelnet.org> je rozsáhlý projekt vícejazykové sémantické sítě, který čerpá data z více zdrojů. Záměrem autorů bylo při tvorbě této sémantické sítě eliminovat základní faktory definující nevýhody tehdejších (i aktuálních) mezinárodních projektů zabývajících se sémantickými sítěmi. Těmi jsou manuální tvorba dat, která síť konstituují, a s tím související nerovnoměrnost množství dat přes jednotlivé jazyky. Jazyky s vysokou hustotou zdrojů, jakým je například angličtina, tak ve výsledku mají více dat i v sémantické síti. Autoři BabelNetu se pokusili tento problém překonat kombinací několika metod, jejichž společným prvkem je automatizace. Informace o významech jsou v BabelNetu doplňovány z Wikipedie, která je podle autorů díky mnohačetným zásahům expertů z různých oborů ve výsledku přesným a informačně bohatým zdrojem. Druhá důležitá metoda, zaměřující se především na nerovnoměrnost dat v různých jazycích, je automatický překlad zdrojů. [NP10]

BabelNetXplorer je webové grafické rozhraní vytvořené pro vizualizaci dat z BabelNetu. Navigli; Ponzetto [NP12] uvádějí, že rozhraní slouží k vizualizaci vztahů pro slova nalezená v BabelNetu a ilustrují vzhled rozhraní dvěma snímky obrazovky. V době vzniku tohoto textu však rozhraní BabelNetXploreru vypadá výrazně odlišně, což je vzhledem k tomu, že od vzniku práce Navigli; Ponzetto [NP12] uběhlo pět let, pochopitelné. V této práci je z evidentních důvodů rozebrána použitelnost a funkcionalita současné verze.

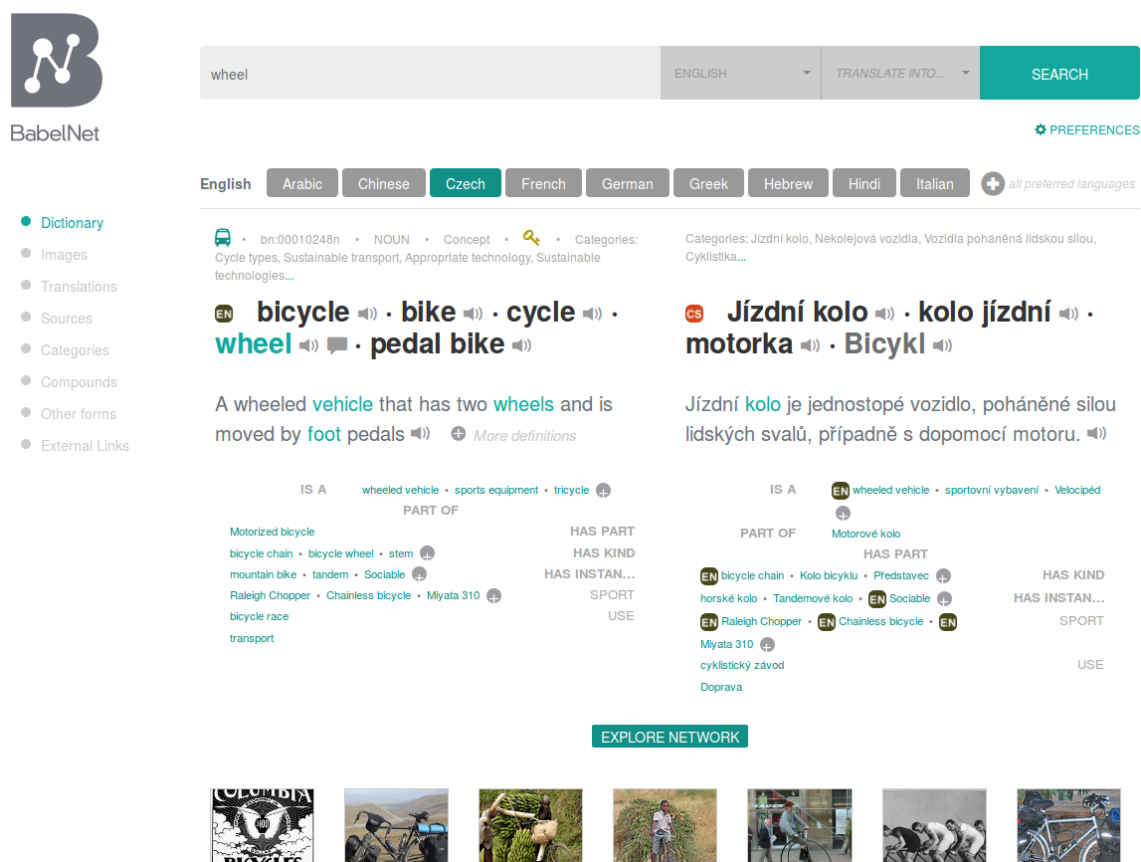
Rozhraní obsahuje klasicky vyhledávací pole, vedle něhož se nacházejí rozbalovací nabídky, v nichž si uživatel může vybrat jazyk, v němž chce vyhledávat, a do kterého jazyka chce slovo případně přeložit. Po úspěšném dokončení vyhledávání jsou uživateli zobrazeny odkazy na jednotlivé synsety v seznamu, který není nepodobný ostatním rozhraním. Podstatným rozdílem je, že se v něm zobrazují i ilustrační obrázky, které, byť nejsou vždy velmi informativní, mohou napomoci uživateli v orientaci, který synset jej zajímá.

V detailu synsetu, který se zobrazí po kliknutí na příslušný odkaz (kterým je vždy nadpis každé položky zmíněného seznamu), je uživateli zobrazen seznam slovních forem, které k danému synsetu náleží, jeho definice (s možností zobrazit definici nejen z wordnetu, v němž uživatel vyhledává, ale i z Wikipedie a dalších zdrojů), jeho případný překlad a sémantické vztahy, do nichž tento synset náleží. K dispozici má uživatel i možnost

¹⁸<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

¹⁹<https://launchpad.net/slowtool>

zobrazit si daný synset paralelně v dalších jazycích pomocí nabídky pod vyhledávacím polem (viditelné na obrázku 4.8 na straně 38). Níže na stránce jsou uživateli prezentovány informace z dalších zdrojů napojených na BabelNet, jako jsou obrázky, překlady, odkazy na Wikipedii etc. a odkaz na vizuální reprezentaci sémantických vztahů otevřeného synsetu.



Obrázek 4.8: Ukázka rozhraní BabelXplorer (detail synsetu v textové reprezentaci)

Vizuální reprezentace je řešena tradičním hvězdicovitým grafem, který má dva režimy. Jeden zobrazuje vedle textových názvů jednotlivých synsetů přítomných v grafu i jejich zástupné obrázky, druhý je čistě textový a, nutno podotknout, značně přehlednější. Uzly reprezentující synsety jsou provázány barevně odlišenými hranami, kde barvy značí druh vztahu, který dva synsety spojuje. Uzly jsou klikatelné, přičemž po kliknutí na některý z příbuzných synsetů se zobrazí tento synset a hvězdicovitě další synsety, s nimiž je zkoumaný synset provázán vztahy. Při najetí kurzorem myši na určitý synset se zobrazí jeho detail; tyto informační bubliny jsou však vázány na pozici kurzoru myši a nelze tak kurzorem najet do detailu tak, aby bylo možné kliknout na odkazy, které jsou v informační bublině obsaženy, a dostat se tak na textovou reprezentaci daného synsetu. Zdá se tedy, že není možné přejít z grafické reprezentace do textové.

Poněkud nešťastně je řešen design vizualizace, jelikož jednak je možné graf přibližovat a oddalovat pouze kolečkem myši (které je na mobilních telefonech samozřejmě nedostupné), a jednak, pokud uživatel nenajede na konkrétní synset kurzorem myši, graf se samovolně neustále otáčí, což ztěžuje orientaci v něm.

Rozhraní je všeobecně responzivní, textová reprezentace je dobře použitelná i na mobilním rozhraní s malou obrazovkou. Grafická reprezentace je však omezena na větší obrazovky, jelikož v ní není možné graf posouvat po obrazovce, a tudíž jeho značná část (být se částečně přizpůsobuje zobrazovací ploše, zřejmě v závislosti na velikosti obrazovky zařízení) zůstává uživateli skryta. Pro dotyková zařízení také není vhodné spoléhat na přejetí myši přes uzel k zobrazení informační bubliny²⁰, jelikož to na dotykových obrazovkách také není příliš dobře proveditelné (kvůli neschopnosti rozlišit kliknutí a „přejetí kurzorem“).

V době vzniku této práce mělo rozhraní dvě verze, z nichž jedna byla označena jako *živá beta*, druhá jako *současná (3.7)*, avšak při testování nebyly zjištěny zásadní rozdíly mezi těmito verzemi. Nutno podotknout, že v prohlížeči použitém k testování na klasickém počítači vykazovala verze beta minoritní chyby v rozložení stránky.

4.2 Vizualizace v aplikačním prostředí Java

Java je objektově orientovaný programovací jazyk zaměřený na to, aby měl co nejméně závislostí na konkrétním operačním systému a technickém vybavení počítače. To je výhodné zejména kvůli konceptu zvanému WORA²¹, protože to znamená, že zkompilevané programy napsané v Javě lze spustit na jakémkoliv stroji, který podporuje Javu. Takto zkompilevané programy se spouští v aplikačním prostředí zvaném Java Virtual Machine²² (JVM), jež vytváří uniformní prostředí pro běh aplikací. Výhodou Javy je velká přenositelnost programů v tomto jazyce napsaných, jelikož jednou zkompileovaný kód lze spustit na různých operačních systémech a zařízeních. Nevýhodou je, že si uživatel, který chce program v Javě napsaný spustit, musí nainstalovat JVM.

Java se občas používá pro vývoj aplikací, které fungují podle modelu klient–server, což je uspořádání, v němž jsou data uložena na centrálním serveru, k němuž se připojují uživatelské klienty, odesílají mu své požadavky a uživatelům zobrazují vrácená data. [GM96, s. 13] Na podobném principu může fungovat i rozhraní pro wordnet, pokud jsou data wordnetu uložena na serveru.

Vizualizace vytvořené pro prostředí Java nemá příliš smysl hodnotit z hlediska responzivity, jelikož a priori nejsou vytvářena pro mobilní zařízení (až na výjimky, které nebylo možné zhodnotit z důvodu jejich nedostupnosti v době vzniku této práce). Co však bráno v potaz být může, je jejich schopnost přizpůsobit se velikosti obrazovky. Jakkoliv se tento parametr může zdát samozřejmý, ukázalo se, že ne všechna rozhraní jsou různé velikosti obrazovek osobních počítačů přizpůsobena.

4.2.1 wnbrowser

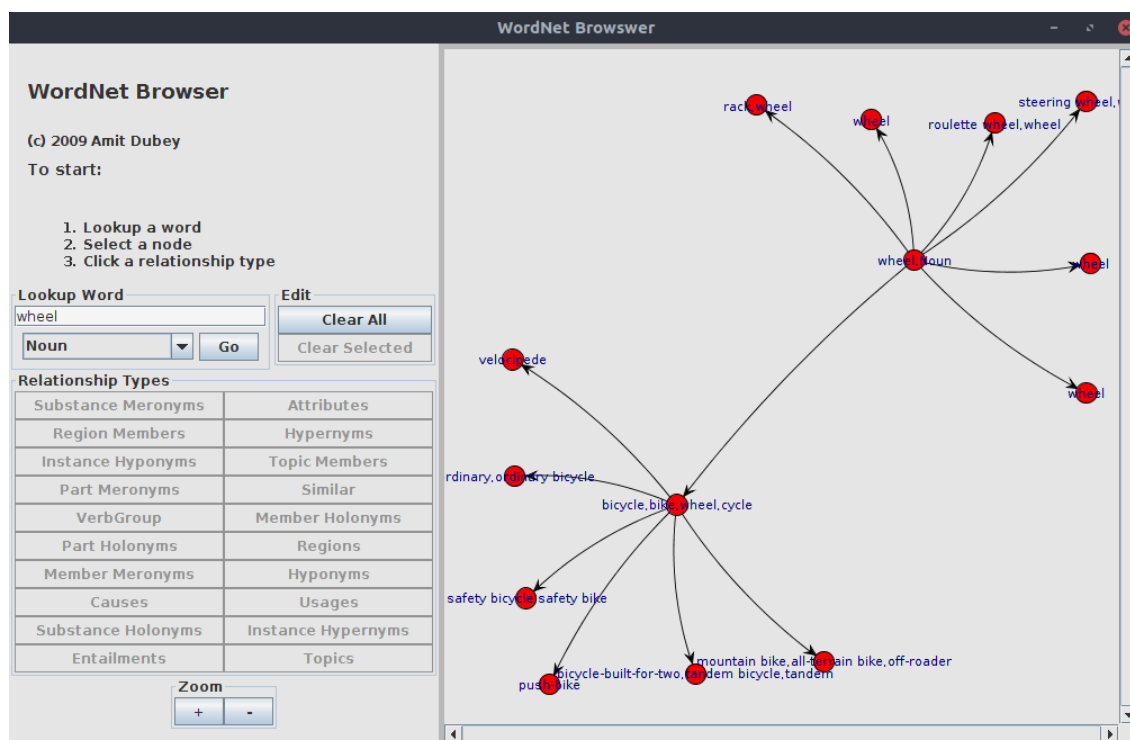
Rozhraní wnbrowser²³, dostupné z <http://homepages.inf.ed.ac.uk/adubey/software/wnbrowser/index.html>, je určeno k prezentaci dat z princetonského WordNetu, a které pracuje pouze s grafovou grafickou reprezentací. Bylo vytvořeno pro reprezentaci dat z WordNetu ve verzi 3.0 a vyšší a vyžaduje lokální instalaci dat. Rozhraní je svázáno se

²⁰tyto bývají anglicky označovány jako *popup tooltip*

²¹Write Once, Run Anywhere, tedy napsat jednou, spustit kdekoliv

²²čes. virtuální stroj Javy

²³sic erat scriptum, název rozhraní je psán na různých místech různými způsoby, více v poznámce na konci této kapitoly na straně 40 a na obrázku 4.10 na straně 41



Obrázek 4.9: Ukázka rozhraní wnbrowser

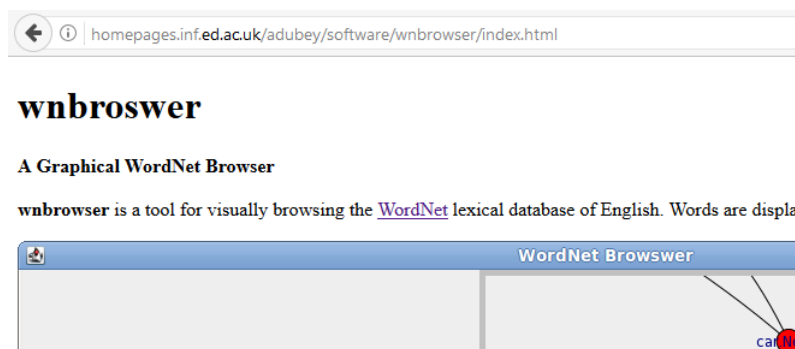
vznikem rumunského wordnetu [FN11]. Sestává z vyhledávacího pole, volby, mezi kterými syntaktickými kategoriemi se má vyhledávat, a selektoru na typy vazeb, jež mají být zobrazeny. Po úspěšném vyhledání konkrétního slova se zobrazí graf konceptuálně podobný grafu z rozhraní sloWTool, tedy ve středu je uzel reprezentující hledaný výraz, z něhož vedou hrany k jednotlivým synsetům, jež danou slovní formu obsahují. Vzhled rozhraní je ilustrován na obrázku 4.9 na straně 40

Grafická reprezentace je interaktivní, lze na ní zvolit, jaký druh sémantického vztahu se má zobrazit, a lze tak u každého uzlu postupně zobrazit všechny synsety, které jsou s ním provázány; toho lze docílit buď přes kontextové menu, nebo přes volby vztahů v levém sloupci rozhraní, v němž se mimo jiné nachází i vyhledávací pole. Rozhraní zobrazuje i detaily zvoleného synsetu (po kliknutí na daný synset), takže až na technické informace typu číslo významu a podobně, je schopno zobrazovat všechna dostupná data.

Lze měnit velikost okna s aplikace, nicméně velikost plochy pro vykreslování grafu zůstává neměnné velikosti, lze tedy v terminologii webových aplikací říci, že je neresponzivní, jelikož se nedokáže přizpůsobit velikosti obrazovky zařízení uživatele.

Aplikaci je možné používat bez připojení k Internetu, jelikož spoléhá na data WordNetu nainstalovaná lokálně.

Poněkud komicky působí fakt, že rozhraní má tři různé názvy: wnbrowser (hlavní nadpis stránky projektu), WordNet Browser (titulek okna aplikace) a wnbrowser (ostatní výskyty). Ilustruje to obrázek 4.10 na straně 41 pořízený 7. 8. 2017.



Obrázek 4.10: Ukázka rozdílného psaní názvu rozhraní na jeho webových stránkách

4.2.2 Treebolic

Treebolic, dostupné z <http://treebolic.sourceforge.net>, je aplikace určená k zobrazování hierarchických dat v hyperbolické reprezentaci, která zajišťuje, že důležitá data v centru obrazovky jsou zobrazena uživateli ve větším měřítku, než data na okrajích grafu. Reprezentaci si lze představit jako plochu zobrazenou přes čočku. [Bou17] Její vzhled je ilustrován na obrázku 4.11 na straně 42

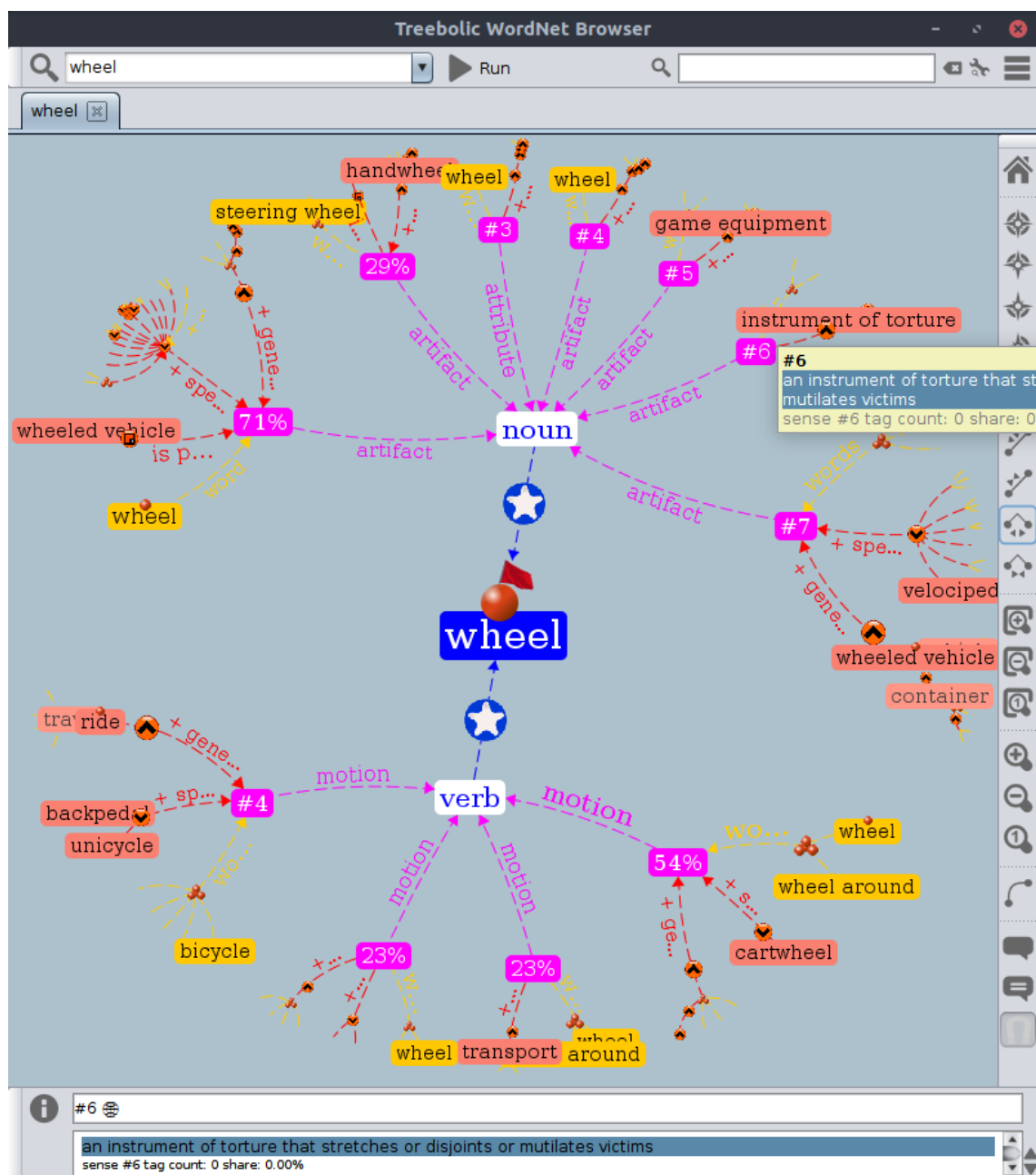
Zobrazení používá model prezentující vše, co je nalezeno k hledanému slovu, tedy při úspěšném vyhledání výsledků se uprostřed vizualizace zobrazí reprezentace vyhledávání, s níž jsou hranami provázány všechny nalezené synsety. Oproti ostatním zde popisovaným prostředím navíc seskupuje tyto synsety podle slovního druhu, tedy zavádí další metakategorii v zobrazení, což přispívá k přehlednosti.

Co přehlednosti naopak ubírá, jsou poněkud kryptické ikony sémantických vztahů, jejichž význam je sice popsán na hraně, kde jsou dané ikony umístěny, popřípadě je možno je odhalit pomocí nabídky *Info* v kontextovém menu po kliknutí pravým tlačítkem na danou ikonu, ale toto řešení se nezdá být příliš ergonomické (mimo jiné proto, že duplikuje informace). Ne zcela evidentní jsou také významy číselných a procentuálních údajů v místě uzlů se synsety. Uživatel se sice díky řešení, které používá spojení synsetů se členskými slovními formami hranami, dozví, o který synset jde (díky oněm členským slovním formám), ale význam zmíněných údajů zůstává skryt. Výhodou je barevné kódování významů jednotlivých hran. Barvy jsou navíc editovatelné v nastavení, takže teoreticky rozhraní vyhoví i osobám se zhoršeným vnímáním barev.

Aplikace byla vyvinuta i pro Android (byť tato verze v rámci práce netestována nebyla), tudíž lze říci, že jistým zprostředkovaným způsobem splňuje požadavky na responzivitu.

Aplikaci je možné používat bez připojení k Internetu, jelikož spoléhá na data WordNetu nainstalovaná lokálně.

Teoretický přínos této implementace spočívá v pohledu na stratifikaci důležitosti vizualizovaných dat. Idea hyperbolického zobrazení rozvinutá dále především v oblasti ovladatelnosti by mohla být správným krokem prezentace většího množství dat, než je schopna obrazovka (potažmo zorné pole) uživatele pojmout.



Obrázek 4.11: Ukázka rozhraní Treebolic (se zobrazenou informační bublinou na synsetu)

4.2.3 Visual Browser

Visual Browser, dostupná z <https://nlp.fi.muni.cz/projekty/visualbrowser/index.html>, je vizualizační aplikace poněkud obecnější, co se jejího účelu týče. Je schopna zobrazit například strukturu wordnetu, kód v Javě či katalog knihovny. Má pouze vizualizační režim a používá jako zdroj dat soubory RDF²⁴ a k nim perspektivu v XML, která umožňuje změnit způsob, jakým je na data nahlíženo. Perspektiva určuje, které typy uzlů v grafu mají být zobrazeny a s jakým vzhledem, a definuje, jakým způsobem mají být

²⁴Resource Description Framework

zobrazeny popisy jednotlivých bodů a hran. EuroWordNet tak může být zobrazen jako thesaurus či jako vizuální slovník díky tomu, že obsahuje více jazyků. [Nev05]

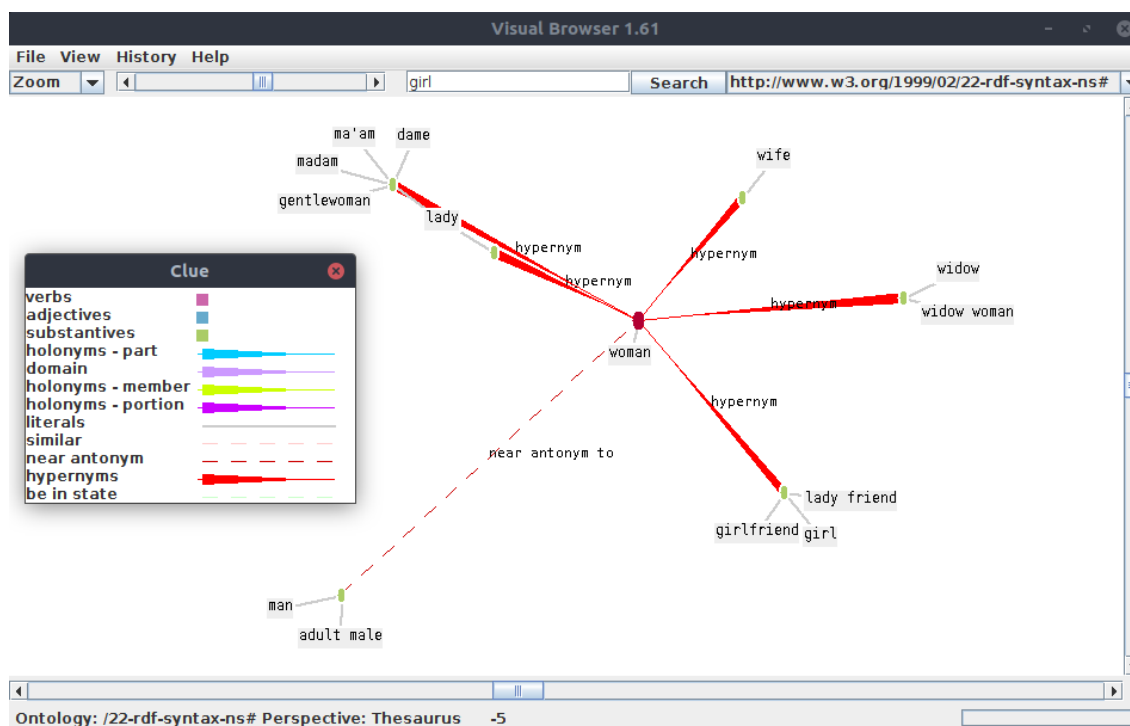
Rozhraní sestává z prvků typických pro vizualizační nástroje, tedy vyhledávacího pole, nabídky s možnostmi změny zobrazování dat (především množství informací, jako jsou například významy hran mezi synsety) a ovládacího prvku sloužícího například pro přibližování či otáčení zobrazeného grafu. Pod těmito nástroji je velká zobrazovací plocha, na níž je vykreslen graf z nalezených dat.

Vizualizace dat z wordnetu (rozhraní bylo testováno na vzorku dat EuroWordNetu dostupném z oficiálních webových stránek rozhraní) je poměrně tradiční. Ve středu zobrazení je zobrazen synset, jenž je výsledkem hledání. Synsety jsou propojeny hranami značícími sémantické vztahy mezi nimi, z každého synsetu pak vedou hrany ke slovním formám, jež k němu náleží. Tímto se zobrazení odlišuje od některých jiných testovaných rozhraní, protože je na první pohled zřejmé, o který synset jde, podle slovních forem, které jsou k němu navázány. Pozitivním aspektem vizualizace je také fakt, že se chová jako zmíněné webové mapy, tedy že při přibližování a oddalování zobrazení se nemění velikost písma na popiscích, takže jsou stále čitelné (byť se při velkém oddálení začnou překrývat) a přiblížením je možné prozkoumat menší část složitějšího grafu.

Poněkud krypticky mohou působit významy barev uzlů synsetů a tvary hran, které je propojují, tento problém je v rozhraní řešen dvěma způsoby. Jednak lze zapnout v nabídce zobrazování popisů hran, jednak je možné zobrazit nápovědu, kde jsou významy vizuálních prvků objasněny (obojí viditelné na obrázku 4.12 na straně 44).

Rozhraní umožňuje základní interaktivitu v tom smyslu, že kliknutím na synset je možné zobrazit další synsety na zvolený synset navázané. Při přidávání dalších takových uzlů do vizualizace je zřejmé, že funguje na relativně rozšířeném základu dvou druhů sil, které na sebe působí. Uzly grafu se odpuzují (zřejmě proto, aby se předešlo překrývání) a zároveň s tím jsou k sobě přitahovány hranami, které je spojují. Ty tedy fungují jako jakési pružiny. Vizualizace dále umožňuje pomocí nabídky dostupné ve formě kontextového menu (zobrazí se po kliknutí na hranu pravým tlačítkem myši) jednotlivé hrany schovat. Po schování hrany se od sebe uzly ještě více oddálí, protože zřejmě již nejsou přitahovány pomyslnou pružinou. Schované hrany lze zpět zobrazit kliknutím na synset, z něhož schovaná hrana vycházela, tedy víceméně jeho opětovným rozbalením. Vedle toho umožňuje rozhraní jednotlivé uzly po vykreslovacím plátně do určité míry přetahovat, ačkoliv samotná vykreslená vizualizace se většinou navrátí do téměř identického stavu, v jakém byla před přetažením uzlu. Jediný případ, kdy se vizualizace spolehlivě nevrátí do stejného stavu, je ten, kdy jsou přes sebe přetaženy uzly, které jsou hvězdovitě propojeny s některým centrálním uzlem (například hyponyma určitého synsetu). Díky těmto interakcím je tedy do jisté míry možné zobrazení dat přizpůsobit konkrétním potřebám, což rozhraní činí užitečnějším. Synsety, respektive jejich popisky a popisky hran se navíc překrývají relativně málo a vždy lze graf přiblížit, aby bylo možné prozkoumat detaily některé části zobrazení.

Díky své přehlednosti a čitelnosti může tato vizualizace být pro potřeby zobrazení dat z wordnetů velmi užitečná. Pro lepší použitelnost by bylo vhodné poskytnout na oficiálních stránkách aktualizovaný návod, jak data do rozhraní načíst. V době psaní této práce totiž bylo nutné provést minoritní editaci souboru XML s perspektivou, aby byla aplikace schopna bez chyb data načíst a zobrazit.



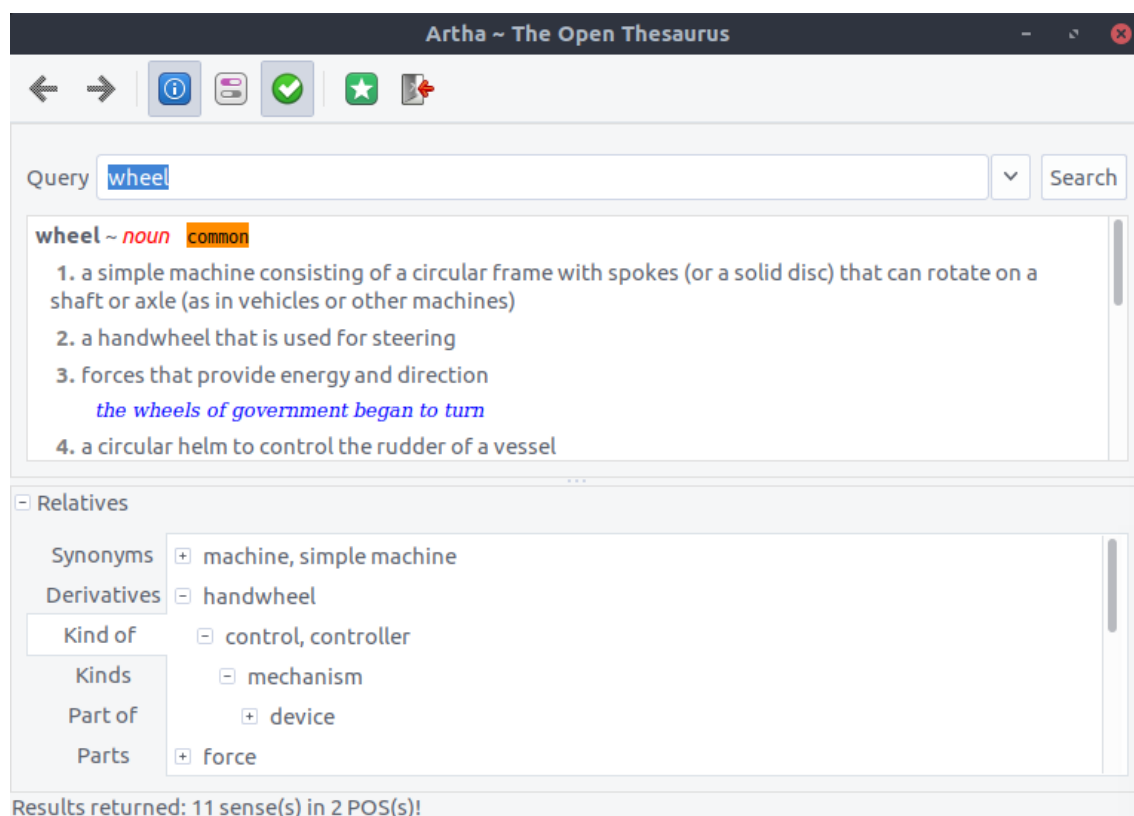
Obrázek 4.12: Ukázka rozhraní Visual Browser

4.3 Aplikace pro klasické počítače

Aplikace pro klasické počítače (tedy desktopové aplikace) jsou takové aplikace, které jsou určeny pro nativní běh na operačním systému uživatelova počítače. Nativně spouštěná aplikace je, ať už přímo, či nepřímo, závislá na programových vlastnostech operačního systému daného stroje, stejně jako zprostředkovaně na jeho technickém vybavení. Přístupy k distribuci desktopových aplikací jsou v zásadě dva; první, běžný hlavně pro operační systém Windows, spočívá v distribuci již zkompileovaných binárních souborů, které zajistí instalaci daného programu do systému a uživatel musí jen příslušný program spustit. Druhý způsob, běžný spíše pro různé linuxové distribuce, je založený na distribuci souborů obsahujících zdrojový kód programu, přičemž uživatel je nucen, má-li zájem program používat, si spustitelný binární soubor zkompileovat. Druhý způsob pro programátora skýtá zásadní výhodu v tom, že se nemusí zajímat o prostředí, na němž bude koncový uživatel jeho program provozovat, protože kompilace programu pro všechny dostupné konfigurace (kombinace programového a technického vybavení koncového uživatele) je náročná na zdroje. [Eli15] Pro koncového uživatele však slyne druhá varianta tou nevýhodou, že kompilace programového vybavení vyžaduje z jeho strany jisté úsilí a znalosti o vlastním systému.

V rámci rozhraní určených pro zprostředkování dat z wordnetů jsou desktopové aplikace nejméně zastoupeny. Je tomu pravděpodobně proto, že jsou nejnáročnější na vývoj, zvláště mají-li být dostupné pro všechny majoritní desktopové operační systémy. Dalším důvodem může být fakt, že při vývoji těchto rozhraní často bývá zvolen model klient-server, pro který jsou vhodnější spíše aplikace v Javě [GM96, s. 13] či webová rozhraní.

4.3.1 Artha



Obrázek 4.13: Ukázka rozhraní aplikace Artha

Artha, dostupný z <http://artha.sourceforge.net/wiki/index.php/Home>, je multiplatformní tezaurus založený na WordNetu 3.0 [Ram12]. Grafické prostředí aplikace je vytvořeno v GTK²⁵, takže umožňuje (minimálně na testovací konfiguraci, tedy operační systém Ubuntu 16.04) komfortní práci. Je možno ji nainstalovat z repozitářů (tedy nevyžaduje náročnou kompilaci²⁶), což je pro koncového uživatele velmi pozitivní. Dle dokumentace je k dispozici instalátor i na operační systém Windows²⁷. O Apple macOS²⁸ se dokumentace nezmiňuje. Artha funguje bez připojení k Internetu a vizualizace je zaměřena především na zobrazení významů synsetů (význam je reprezentován definicemi). Problémem je ukládání stavů aplikace, což se projevuje na nepříliš propracované funkcionalitě možnosti kroku zpět (na předchozí vyhledávání). Pokud například uživatel klikne dvojklikem na vybrané slovo v definici, Artha se jej pokusí²⁹ přesměrovat na definici tohoto slova ve WordNetu, ale při kroku zpět už mu zobrazí slovo, jež hledal *před* slovem, z něž se dostal na *současnou* definici. Oproti základnímu rozhraní WordNetu nabízí Artha větší pohodlí v podobě desktopové offline aplikace.

²⁵zkratka pro GIMP Toolkit, multiplatformní soubor nástrojů pro tvorbu grafických rozhraní (<https://www.gtk.org/>)

²⁶podobně jako při distribuci zkompilevaných binárních souborů

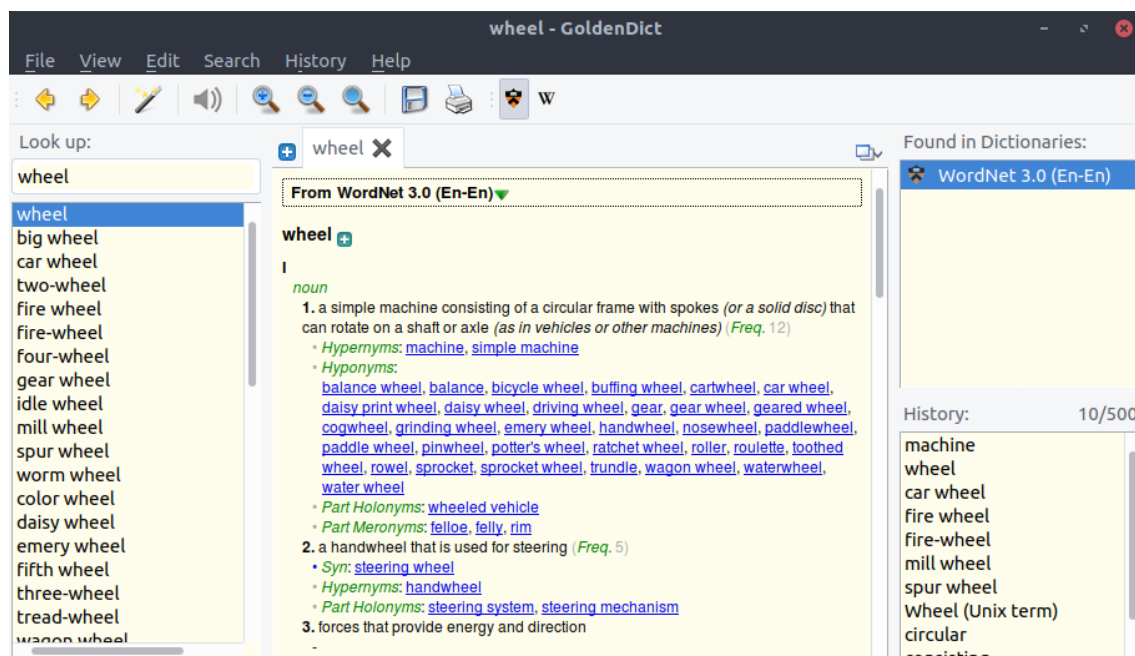
²⁷<https://www.microsoft.com/en-us/windows/>

²⁸<https://www.apple.com/lae/macos>

²⁹selže, pokud uživatel vybere před dvojklikem více slov

Artha zobrazuje data čistě textově (v tom smyslu, že nenabízí žádnou formu vizualizace), přičemž se rozhraní dělí na dvě části, a to nalezené synsety s bližšími informacemi a sémantické vztahy, které se k vybranému synsetu vážou (ilustrováno na obrázku 4.13 na straně 45).

4.3.2 GoldenDict



Obrázek 4.14: Ukázka rozhraní aplikace GoldenDict

Podobně jako Artha funguje GoldenDict, dostupný z <http://goldendict.org>, který, jsa univerzálnějším rozhraním pro více lexikografických zdrojů, byl testován jen ve své verzi pro WordNet. GoldenDict zobrazuje čistě textovou reprezentaci umožňující kliknutím zobrazit detaily jednotlivých synsetů. Slovníková data si obstarává aplikace sama, takže uživatel nemusí podstupovat instalaci dat princetonského WordNetu (která může být netriviální, protože například pro Windows neposkytují oficiální webové stránky instalátor pro data WordNetu ve verzi 3). Zároveň rozhraní umožňuje přidávat další slovníky a v základu umožňuje zobrazovat výsledky hledání z Wikipedie.

Rozhraní obsahuje levý sloupec pro zobrazování výsledků hledání a společně s hlavní plochou pro zobrazování detailů synsetu se chová podobně jako ostatní rozhraní (ilustrováno na snímku obrazovky 4.14 na straně 46). Aplikace udržuje historii hledání, umožňuje hledat slova z definic synsetů pomocí dvojklíku kurzorem myši a dává uživateli k dispozici relativně široké možnosti konfigurovatelnosti. Její rozhraní se dobře přizpůsobuje velikosti obrazovky (potažmo okna).

Grafické rozhraní aplikace GoldenDict je postaveno na Qt³⁰ a pro zobrazování dat z webu používá WebKit³¹. [Isa13]

³⁰multiplatformní soubor nástrojů pro tvorbu grafických rozhraní (<https://www.qt.io/ui/>)

³¹vykreslovací jádro pro webové prohlížeče (<https://webkit.org/>)

Kapitola 5

Shrnutí přehledu a vyplývající závěry o vhodném rozhraní

Rozhraní v přehledu prezentovaném v této práci v kapitole *Porovnání některých rozhraní* na straně 25 byla hodnocena dle různých aspektů odpovídajícím účelu a provedení dané třídy rozhraní. Nejpodrobněji byla hodnocena webová rozhraní. U těch byla jako největší společný nedostatek identifikována nedostatečná responzivita, což vede k tomu, že uživatel dané rozhraní nemůže (nebo může jen omezeně) používat na mobilním zařízení. To v době, kdy počet uživatelů přistupujících k webovým službám přes mobilní zařízení je vyšší než počet těch, kteří k nim přistupují pomocí klasických počítačů [Hei16], aplikaci značně diskriminuje. Z podobného důvodu jsou v nevýhodě také rozhraní vytvořená pro aplikační prostředí Java a v ještě větší míře aplikace vytvořené přímo pro operační systémy klasických počítačů.

Aplikace vytvořené v Javě sice teoreticky spustitelné na některých mobilních operačních systémech být mohou (jak bylo zmíněno v kapitole *Strukturalizace přehledu a kritéria hodnocení* na straně 23, prakticky by jejich použitelnost vzhledem k jejich návrhu grafického rozhraní byla omezená také výhradně na klasické počítače.

Pro některé aplikace vyvinuté v Javě byly vytvořeny tzv. applety Java¹, ale vzhledem k tomu, že například rozšířený webový prohlížeč Firefox tyto applety už oficiálně nepodporuje [Moz17], je využití zásuvných modulů Java značně omezené a do budoucnosti asi nelze předpokládat velkou perspektivu tohoto řešení.

Rozhraní zkompilovaná pro konkrétní operační systém mají navíc tu nevýhodu, že uživatel nalezená data nemůže jednoduše sdílet například se svými kolegy (proto bylo u webových rozhraní hodnoceno reflektování stavu aplikace v adresním řádku prohlížeče).

Z výše uvedeného je zřejmé, že je potřeba rozhraní, které bude použitelné univerzálně na (ideálně) všech platformách, a zároveň bude implementovat funkcionalitu všeobecně očekávanou u rozhraní pro wordnet. Tou je textová prezentace dat a k ní dodatečná vizualizace ve formě grafu. Ideální rozhraní by také mělo splňovat designové požadavky moderních webových aplikací na přístupnost, tedy například nepředpokládat určitou velikost obrazovky uživatelského zařízení či ctít zásady vizuální přístupnosti (kontrastní barevné kódování, nepřekrývání textových prvků na obrazovce etc.). Je samozřejmé, že grafická prezentace dat nemůže být přizpůsobena velikosti obrazovky mobilního zařízení, mají-li

¹ příkladem budiž Visual Browser zde rozebíraný (<https://nlp.fi.muni.cz/projekty/visualbrowser/applet/index.html>)

být textové prvky čitelné a zároveň má-li být zachované rozložení prvků, může však být alespoň zajištěno, že funkcionalita posouvání zobrazovací plochy dotykem (u dotykových zařízení) není znemožněna funkcionalitou svázanou s prvky na obrazovce (jak tomu často bývá u implementací grafů synsetů, jejichž uzly je možné tažením myši (což je ekvivalent přejetí po dotykové obrazovce) přesouvat po zobrazovací ploše).

Kýžené rozhraní by také mělo splňovat požadavky na vizuální atraktivitu, aby se uživatelé cítili komfortně při práci s ním. Aspekty vizuálně atraktivního rozhraní jsou do značné míry subjektivní, zdá se však, že uživatelé očekávají jistou prototypičnost designového konceptu od webové stránky s určitým účelem [Wal13; Tuc⁺12]. Studie [Tuc⁺12] také potvrzuje, že uživatelé pozitivně vnímají webové stránky s nízkou komplexitou, což může u implementace rozhraní wordnetu být problém, jelikož takové rozhraní inherentně musí poskytovat velké množství informací. Cílem tedy je zobrazované informace vhodně strukturovat tak, aby uživatel měl pocit, že danou stránku zná a ví, kde na ní co najde, a necítil se zahlcen množstvím informací. Detaily designu takové aplikace jsou rozebrány v kapitole *Návrh rozhraní* na straně 50 a následujícím rozboru rozhraní vytvořeného v rámci této práce.

Část III

Praktická část: rozhraní k wordnetu

Kapitola 6

Návrh rozhraní

6.1 Východiska

Cílem praktické části této práce bylo vytvořit rozhraní k sémantickým sítím typu wordnet, které by nebylo zatíženo nedostatky, jež byly pozorovány u rozhraní testovaných v předchozí části práce. Zřejmě nejrozšířenějším problémem u existujících rozhraní pro webové prohlížeče je jejich do různé míry značná problematičnost použitelnosti na mobilních zařízeních s malým displejem (u některých naprostá nepoužitelnost). Rozhraní implementovaná ve formě aplikace pro klasické počítače jsou na mobilní zařízení nepřenositelná již ze své podstaty a jejich použitelnost na těchto zařízeních nemůže být hodnocena vůbec, faktem však zůstává, že je jejich nepřenositelnost v porovnání s webovými rozhraními diskriminuje.

Rozhraní, které je výstupem této práce si tedy klade za cíl umožnit uživatelům přístup k datům wordnetů odkudkoliv, bez ohledu na to, zda pracují na mobilním telefonu, tabletu či klasickém počítači. Jeho návrh se snaží být technologicky nadčasový, ačkoliv v tomto aspektu budou ve světě webových technologií, jenž se neustále vyvíjí, pravděpodobně vždy existovat jisté limity. Pro rozhraní vytvořené v rámci této práce to jsou však v podstatě pouze požadavky na webový prohlížeč koncového uživatele. Uživatelův prohlížeč musí podporovat technologie ECMAScript verze 6¹, HTML verze 5 a CSS verze 3. V době psaní této práce rozšířené prohlížeče ve svých aktuálních verzích tyto požadavky splňují. Podrobněji se vysvětlení požadavků na verze věnuje kapitola *Použité technologie* na straně 56.

Rozhraní bylo v rámci této práce navrženo tak, aby umožňovalo zobrazení dat jak textové, tak grafické. Textové zobrazení je vhodné pro zobrazení synsetů, které obsahují velké množství potomků (hyponyma, meronyma etc.), a mohou v grafickém rozhraní být nepřehledné. Také se textové rozhraní spíše hodí k použití na mobilních zařízeních, jelikož se lépe přizpůsobuje velikosti obrazovky. Grafické zobrazení je naopak vhodné pro rychlý přehled míry komplexity synsetu a jeho vztahů. Může sloužit především jako ilustrace daného slovního významu. Textové a grafické zobrazení se vzájemně nedoplňují, ale jsou různým zobrazením týchž dat a je na uživateli, které ze zobrazení je pro něj komfortnější či užitečnější.

¹také známý jako ECMAScript 2015; všeobecně označován jako JavaScript, čehož se bude nadále držet i tato práce

6.2 Cíle nového rozhraní

Přesto, že existujících rozhraní je dostupných mnoho, žádné z nich nesplňuje požadavky moderní platformně nezávislé aplikace, jak bylo ukázáno v části *Přehled a porovnání některých vizualizací sémantických sítí*. Proto vznikl záměr vytvořit takové rozhraní, které by tyto požadavky (do co největší míry) splňovalo. Vzhledem k původním záměrům samotného WordNetu (a na něj navazujících projektů), mezi nimiž byly například edukační účely, je nutné, aby rozhraní k těmto projektům bylo intuitivní, vizuálně přitažlivé a snadno přístupné. Snadná přístupnost například minimalizuje nutnost správné přípravy školních počítačů k použití takového rozhraní, což opět zvyšuje šance, že aplikace bude skutečně použita.

S touto vizí tedy byla vytvořena webová aplikace RAW viewer (Responsivity Aware Wordnet viewer), která je v dalších částech této práce prezentována.

Kapitola 7

Prezentace vytvořeného rozhraní

7.1 Základní představení

Rozhraní RAW viewer uživateli při prvním otevření prezentuje prázdnou stránku s vyhledávacím formulářem v levém sloupci a nápovědou, jak začít s rozhraním pracovat, v pravém prostoru určeném k následné prezentaci dat.¹

Vyhledávací formulář sestává jednak ze samotného pole pro vložení hledaného výrazu a tlačítka na spuštění vyhledávání, jednak z rozbalovací nabídky, v níž může uživatel vybrat zdroj dat vyhledávání (typicky různojazyčné wordnety). Nad polem pro vkládání jsou také tlačítka určená k volbě reprezentace synsetu.

Pokud je zadané slovo po spuštění vyhledávání úspěšně nalezeno, zobrazí se uživateli v levém sloupci pod vyhledávacím formulářem nabídka synsetů, v nichž se hledaný výraz vyskytuje, a v pravém prostoru podle zvolené reprezentace buďto textová data o zvoleném (případně prvním) synsetu, či jeho reprezentace grafem.

Při přepínání vizualizace dat mezi textovou a grafickou se mění pouze obsah pravé části rozhraní, obsah levého sloupce s vyhledávacím polem a výpisem zobrazených synsetů zůstává neměnný.

Zadá-li uživatel výraz, který se v daném wordnetu nevyskytuje, je mu po neúspěšném dokončení vyhledávání prezentována zpráva o negativním výsledku hledání.

7.2 Textová reprezentace

Textový režim reprezentace dat (ilustrován na obrázku 7.1 na straně 53) je relativně konservativní a snaží se uživateli přinést přehledný a zároveň komplexní výpis nalezených informací.

Hlavní nadpis tvoří výpis slov patřících do zobrazeného synsetu, pod ním je zobrazena definice významu, cesta a další informace, jako například slovní druh či číslo základního konceptu (BCS²). Cestou k synsetu je míněn seřazený seznam synsetů, přes něž je možno se ze zobrazeného synsetu po relacích hyperonymie dostat ke kořenovému synsetu. Pod tímto blokem s informacemi uživatel nalezne výpis synsetů, s nimiž je ten zobrazený provázán

¹Při zobrazení rozhraní na displeji užším než 768 pixelů se z levého sloupce stane horní část stránky, k pravému prostoru se pak uživatel dostane rolováním po stránce dolů. Při popisu rozhraní bude k těmto částem nadále referováno jako k levé a pravé z důvodu přehlednosti.

²Base Concept Set

Czech wordnet

Found synonym rings (synsets):

(n) kolo⁷, okruh⁵

(n) kružnice¹, kruh¹, kolo³

(n) kolo⁵, obruč¹

(n) jízdní kolo¹, bicykl¹, kolo²

(n) hra¹, kolo⁶

(n) kolo⁸

jízdní kolo¹, bicykl¹, kolo²

jednostopý dopravní prostředek pohybující se šlapáním do pedálů

Paths to word

entita¹ → objekt¹ → celek¹ → artefakt¹, výtvor², výrobek² → vybavení² → kontejner¹, přepravník¹ → kolové vozidlo¹

Word properties

n ENG20-02734941-n

Semantic relations

<p>hyponym</p> <p>velociped¹</p> <p>tandem²</p> <p>horské kolo¹</p>	<p>near_antonym</p>	<p>part</p> <p>řídítka¹</p> <p>kolo bicyklu¹</p> <p>sedlo²</p>
---	----------------------------	--

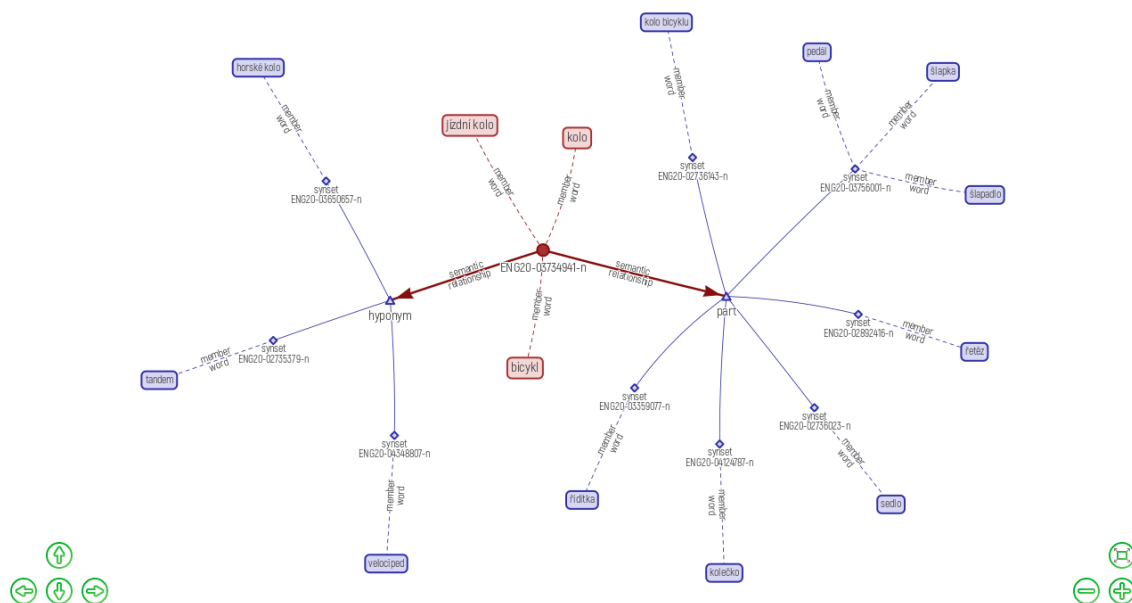
Obrázek 7.1: Textová reprezentace dat v RAW viewer

sémantickými relacemi. Jednotlivé vztahy jsou rozděleny do sloupců, což přispívá k lepšímu škálování reprezentace sémantických relací. Uživateli v této sekci není zobrazena jedna důležitá sémantická relace, a to hyperonymie; synsety k zobrazenému synsetu nadřazené jsou totiž zobrazeny ve zmíněné cestě.

Aby byla zvýšena interaktivita rozhraní, jsou slovní formy v hlavním nadpisu a synsety v sekci sémantických relací uživateli vypisovány jako hypertextové odkazy. Přes tyto odkazy je možné vyhledat dané slovo či přejít na příslušný synset, čímž je umožněno procházení wordnetu přes vztahy jako jsou hyponymie, meronymie, hyperonymie etc. V textovém zobrazení se vyskytují dva druhy hypertextových odkazů. První jsou v levém sloupci v seznamu synsetů nalezených při vyhledávání a slouží k volbě zobrazeného synsetu. Vzhledem k tomu, že server po vyhledávání vrací soubor všech nalezených synsetů, nevyvolává přechod po těchto odkazech nové hledání. Druhým druhem odkazů jsou takové, které neodkazují na data načtená po posledním vyhledávání. Vyskytují se právě části textového rozhraní, a to v hlavním nadpisu, v cestě k zobrazenému synsetu a v sémantických relacích, do nichž nalezený synset náleží. Pokud na ně uživatel klikne, spustí se nové vyhledávání podle slovní formy nebo identifikačního řetězce synsetu, na nějž uživatel klikl. Výsledkem hledání dle identifikačního řetězce je jeden konkrétní synset.

Jednou z odchylek od tradičních postupů v textové reprezentaci dat z wordnetu je udávání příslušnosti slovní formy k významu. Tato příslušnost je tradičně reprezentována číslem odděleným od slovní formy dvojtečkou. To může pro uživatele neznalého tradice v reprezentaci wordnetů být matoucí, a tak bylo v rámci zlepšení přístupnosti nového rozhraní RAW viewer přistoupeno k zobrazení čísla významu jako horního indexu za slovní formou. To by mělo údaj učinit méně obtuzivní a intuitivně snáze pochopitelný, jelikož na horní indexy je uživatel vizuálně spíše zvyklý než na čísla za dvojtečkou.

7.3 Grafická reprezentace



Obrázek 7.2: Grafická reprezentace dat v RAW viewer

Grafická reprezentace nalezených dat (ilustrována na obrázku 7.2 na straně 54) je alternativou k textové a jejím cílem je především uživateli vizualizovat vztahy, jichž je prohlížený synset členem. Podobně jako textová reprezentace se snaží příliš se neodchylovat způsobem zobrazení od již existujících zobrazení, ale zároveň eliminovat nedostatky v použitelnosti, jimiž se většina existujících implementací vyznačuje. Jmenovitě grafické zobrazení v RAW viewer vůbec nepoužívá interaktivní prvky typu informačních bublin, jež se zobrazují při přejetí myši. Tyto bubliny jsou velmi oblíbené zřejmě proto, že umožňují bez ztráty přehlednosti celého grafu uživateli přístup k podrobnějším informacím. Jejich zásadní nevýhoda ovšem tkví v tom, že na dotykových obrazovkách, jimiž bývají vybavena současná mobilní zařízení, koncept přejetí myši přes prvek neexistuje, protože grafické rozhraní na těchto zařízeních nebývá ovládáno externím technickým vybavením počítače typu myš, které pohybuje po obrazovce kurzorem, ale uživatel používá dotyku svých prstů či stylu a dotek na určitém místě obrazovky znamená obvykle kliknutí. Nelze tedy tak jako u klasických počítačů rozlišit přejetí kurzorem myši a kliknutí a funkcionality zmíněných informačních bublin je tedy buďto zcela nepřístupná či přístupná jen velmi omezeně.

Další interaktivita značně rozšířená u existujících vizualizací je možnost tažením uzlu myši přeuspořádat graf. U některých z vizualizací může taková možnost být užitečná proto, že při větším počtu uzlů se některé uzly překrývají a přetažením lze takový překryv eliminovat (většinou však na úkor rozložení jiné části grafu). Obecně by však při správném nastavení zobrazení taková funkcionality neměla být potřebná, a proto nebyla zavedena ani do vizualizace RAW viewer, které se o správné nastavení snaží. Uzly také nejsou odkazy s podobnou funkcí jako jsou odkazy v textové reprezentaci proto, aby bylo možné nerušeně graf táhnout a tím se pohybovat po zvětšeném grafu v zájmu bližšího prozkoumání jeho částí. Klikatelné uzly by mohly takovou funkcionalitou uživatele rušit, jelikož by jeho tažení mohlo vyvolat nové hledání místo přechodu na jinou část grafu.

Zobrazení grafem je možné ovládat nejen myší či dotykem, ale i klávesnicí. Podporováno je zvětšování a zmenšování grafu, přičemž zvětšování je řešeno klávesami + či], zmenšit graf lze buď klávesou - či [. Přejíždění zvětšeným grafem po zobrazovací ploše je také podporováno, a to pomocí kláves se šipkami, tedy \leftarrow , \rightarrow , \uparrow a \downarrow .

Koncept zobrazení grafem spočívá v použití tří druhů uzlů s odlišným významem (například slovní forma, koncept etc.), které jsou propojeny hranami, jejichž význam je závislý na tom, které uzly spojují. Prvním druhem uzlů jsou ty, jež reprezentují synsety. Takový uzel se v grafu vždy vyskytuje minimálně jeden kořenový, což je v tomto případě ten synset, jehož detaily jsou otevřeny. Další jsou pak členové případných sémantických relací, jichž je kořenový členem. Z kořenového uzlu vedou hrany ke dvěma zbývajícím druhům uzlů, jimiž jsou slovní formy a sémantické relace. Uzly reprezentující slovní formy jsou se synsetem, k němuž náležejí, propojeny hranou pojmenovanou *member word*, tedy členské slovo, a žádné další hrany z nich nevedou.

Co se uzlů reprezentujících sémantické relace týče, může význam jejich přítomnosti v grafu být na první pohled poněkud nejasný, důvody k jeho použití jsou však jednoduché. Intuitivně by sémantická relace měla být hrana, jež vede mezi synsety spojenými touto relací. Pojmenování hrany by se pak odvíjelo od druhu relace, již reprezentuje. Problém s tímto způsobem zobrazení tkví v tom, že značně centralizuje zobrazení do hvězdčovitého obrazce okolo kořenového uzlu, což zobrazované uzly vizuálně uspořádá do hierarchicky ploché struktury a sníží přehlednost grafu. Z tohoto důvodu byly do vizualizace grafem zavedeny uzly reprezentující sémantické relace, které synsety svázané s kořenovým uzlem stejným vztahem sdružují do jednoho podstromu. Díky tomu je dosaženo rozčlenění grafu na jednotlivé sekce podle těchto sémantických relací a uživatel není nucen zkoumat význam každé hrany mezi synsety (cf. vizualizace v rozhraní Cornetto, ilustrace 4.5 na straně 32).

Responzivita vizualizace je inherentně omezena tím, že se graf buď i nepříliš komplexního synsetu nemůže na malou obrazovku mobilního zařízení vejít, zvláště mají-li být textové popisy uzlů čitelné. Tím, že vizualizace umožňuje přibližování a oddalování, je však tento problém do jisté míry eliminován, protože uživatel může graf přiblížit a přejíždět po něm podobně, jako to umožňují například aplikace na zobrazování elektronických webových map. Toto řešení samozřejmě způsobuje na dotykových obrazovkách problém s tím, aby nebylo znemožněno rolování po zbytku stránky. To bylo vyřešeno v RAW viewer zachováním okrajů po stranách kolem plochy s grafem, kde se běžně vyskytují rolovací ovládací lišty, a uživatel tak tohoto okraje může využít k rolování stránky namísto posouvání grafu.

Kapitola 8

Použité technologie

Rozhraní RAW viewer je vytvořeno jako aplikace pro webové prohlížeče, přesněji řečeno jde o dokument v HTML¹ (k čemuž se všeobecně referuje jako k webové stránce), jenž je dynamicky generovaný na straně klienta pomocí skriptovacího jazyka JavaScript a jím zpracovávaných dat ze serveru posílaných ve formátu JSON². Vzhled dokumentu je definován pomocí jazyka CSS³. Jednotlivé role uvedených technologií jsou rozebrány v následujících podkapitolách.

8.1 HTML

Značkovací jazyk HTML je základním stavebním prvkem většiny dokumentů pro webové prohlížeče. Jako značkovací jazyk umožňuje HTML definovat obsah dokumentu, jeho strukturalizaci do částí, definici významů jednotlivých částí (například označení nadpisu) a do jisté míry jej lze užívat, byť k tomu není určeno [W3Sa], i pro definici vzhledu dokumentu (tučný řez písma etc.). Poskytuje také prostředky pro tzv. hypertextové odkazy, jimiž lze provázat různé dokumenty či části jednoho dokumentu. Nežrídka se tyto odkazy v dnešní době používají jako ovládací prvky k řízení změn obsahu dynamicky generovaného dokumentu, kterým je například zde popisované rozhraní RAW viewer .

V rozhraní RAW viewer HTML slouží k definici struktury zobrazené webové stránky, jejímu rozdělení na jednotlivé sekce (levý sloupec, pravá plocha, záhlaví etc.) a ke strukturalizaci zobrazovaných informací. Příkladem může být výpis sémantických relací, v nichž je zobrazovaný synset přítomen. Jednotlivé relace jsou rozděleny do bloků (jež jsou později pomocí CSS nastaveny tak, aby se zobrazovaly jako sloupce) a jednotlivé synsety svázané se zobrazovaným příslušným vztahem jsou vypsány v seznamu.

Pátá verze HTML je v aplikaci využita jakožto nejnovější s ohledem na to, že je podporovaná ve všech moderních prohlížečích. [W3Sc] Důležitou motivací pro použití této verze je také podpora prvku `<canvas>`, který umožňuje vykreslovat do dokumentu grafiku [W3Sb] a s jeho pomocí je implementována grafická reprezentace dat.

¹HyperText Markup Language

²JavaScript Object Notation

³Cascading Style Sheets

8.2 JavaScript

JavaScript je vysokoúrovňový⁴ dynamický⁵ netyповaný⁶ a interpretovaný⁷ programovací jazyk používaný vedle HTML a CSS jako jedna ze tří základních technologií pro tvorbu webových aplikací. Jeho funkce spočívá v ovládání obsahu stránky na základě událostí, kterými mohou být například akce uživatele (např. kliknutí na odkaz) či akce serveru (např. dokončení požadavku a navrácení jeho výsledků).

Popisované rozhraní momentálně vyžaduje JavaScript a využívá jej na sledování akcí uživatele (inicializace hledání a přepínání zobrazeného synsetu či vizualizace), odesílání požadavků uživatele serveru (hledání), přijímání odpovědí na tyto požadavky a následné zpracování odpovědi a aktualizace HTML dokumentu, tedy zobrazení výsledků hledání uživateli. Zjednodušený vývojový diagram této logiky je ukázán na ilustraci 9.1 na straně 60.

8.2.1 JSON

JSON je formát určený pro výměnu dat a je zároveň strojově i lidsky čitelný (jedná se o čistý text). Strukturálně se podobá objektům v JavaScriptu, tedy sestává z párů **klíč:hodnota**. Klíčem bývá řetězec znaků, hodnotou může být cokoliv, co je serializovatelné, tedy zapsatelné ve znacích národních abeced a číslech. [Ecm13]

Tento formát je vhodný na přenos informací, jakými jsou data z wordnetu, jelikož se jedná o strukturovaná, čistě textová data. Další možností pro přenos takových dat je například formát XML⁸. Ten oproti formátu JSON umožňuje přesnější specifikace typů hodnot a validaci dat, avšak pro stejné množství informací je datově větší (má větší režii na značkování). XML je navíc oproti formátu JSON méně pohodlně zpracovatelné v JavaScriptu, jelikož syntax formátu JSON reflektuje strukturu objektů v JavaScriptu. Vzhledem k tomu, že data z wordnetů bývají krátké řetězce, je evidentní, že při použití XML by bylo přenášeno zbytečně velké množství strukturních informací v podobě značkování. [W3Sd] To v kombinaci s jednoduchostí zpracování formátu JSON v JavaScriptu přispělo k rozhodnutí použít v aplikaci RAW viewer k přenosu dat JSON. Ukázka formátu JSON je v kapitole *Struktura odpovědi serveru* na straně 61.

8.2.2 AJAX

AJAX⁹ je souhrnné označení skupiny technologií používaných pro asynchronní přenos dat mezi webovým prohlížečem a serverem, tedy pro komunikaci webových aplikací se serverem. Rozdíl oproti tradičnímu přenosu informací mezi serverem a webovou stránkou načtenou u klienta tkví v tom, že bez použití AJAXu je nutné pro zpracování odpovědi na

⁴silně abstrahovaný od nízkourovňových instrukcí procesoru a nezávislý (či méně závislý) na technickém vybavení počítače

⁵úkony, jež jsou u statických jazyků prováděny při kompilaci, jsou prováděny za běhu programu

⁶kterékoliv operace jsou povoleny nad jakýmkoliv daty, nekontroluje se typ proměnných

⁷program spouštěný bez předchozí statické kompilace, interpretem následně rozložený na kompilované podrutiny

⁸eXtensible Markup Language

⁹Asynchronous JavaScript And XML

požadavek načíst stránku znovu. Hlavním využitím AJAXu bývají právě aplikace, jejichž funkčnost je závislá na komunikaci se vzdáleným serverem. [Gar⁺05]

U komplexních webových aplikací může být opětovné načítání celé stránky nevýhodné z mnoha důvodů. Jedním ze scénářů může být například potřeba obnovit data na části stránky, zatímco uživatel vkládá data (například komentář) na jiné části¹⁰. Úplným znovunačtením by byla uživatelská vložená data ztracena, takže je nutné obnovovat jen její část, k čemuž je výhodné využít AJAX.

Dalším důvodem k využívání AJAXu je uživatelský komfort – během načítání je možné zobrazovat vlastní indikátor načítání, při výpadku spojení zobrazit uživatelsky přívětivou zprávu etc.

Asynchronní výměna dat mezi webovým prohlížečem a serverem probíhá pomocí aplikačního rozhraní XHR¹¹ dostupného v prohlížečích pomocí JavaScriptu. [MOZ17]

8.2.3 Historie v prohlížeči

Historie je schopnost webových prohlížečů přecházet mezi jednotlivými stavy, které nastaly během uživatelského prohlížení stránek v daném okně (či kartě) prohlížeče. Typicky jsou těmito stavy jednotlivé stránky, které uživatel navštívil, ať už v rámci jednoho nebo různých portálů. Pokud například navštíví domovskou stránku vyhledávače DuckDuckGo¹², vyhledá výraz **Brno** a následně otevře výsledek hledání vedoucí na portál Wikipedia¹³, zaznamenaná prohlížeč automaticky tři stavy (domovská stránka vyhledávače, stránka s výsledky hledání, stránka na Wikipedii), k nimž je možné se vrátit. Pro porovnání s nastíněním problému, jež následuje níže, je nutno podotknout, že v obou zmíněných přechodech mezi stavy karty prohlížeče se stránka načítá zcela znovu¹⁴, takže se změna stavu zaznamenává automaticky (netřeba ji ošetřovat na straně webové stránky).

Při užívání dynamického generování obsahu stránky na straně klienta a přenosu požadavků a dat pomocí AJAXu nastává problém, že z hlediska prohlížeče se stav nezmění, tudíž není nic zapsáno do historie. Tento problém byl v minulosti řešen různými způsoby, pátá verze HTML implementuje aplikační rozhraní pro možnost ovládat uměle historii prohlížeče. Je tedy možné v libovolný okamžik běhu JavaScriptu přidat do historie další stav a tím umožnit jeho obnovení například při uživatelské akci „přejít zpět“.

Druhým problémem při dynamickém generování obsahu stránky je udržování adresního řádku prohlížeče, který obsahuje URL, aby bylo později možné z adresy obnovit stav; to je výhodné zejména proto, že by mělo být možné adresu uložit či sdílet. JavaScript umožňuje nativně manipulovat s adresou v adresním řádku, přičemž RAW viewer její udržování implementuje pomocí knihovny URI.js [Reh].

8.2.4 Použité knihovny a zásuvné moduly pro JavaScript

jQuery je knihovna navržená s cílem usnadnit programování v JavaScriptu. Je zaměřená především na zjednodušení práce s elementy v HTML dokumentu, práci s událostmi (např. stisk klávesy) a komunikaci mezi klientem a serverem pomocí AJAXu. [jQu]

¹⁰Existuje jistě možnost toto obejít pomocí rámců v HTML, ale ty mají jiné nevýhody [IMS13].

¹¹XMLHttpRequest

¹²<https://duckduckgo.com>

¹³<https://en.wikipedia.org/wiki/Brno>

¹⁴stav k 1. 6. 2017

URI.js zjednodušuje práci s adresami (URL). Knihovna URI.js umožňuje jednak obsah adresního řádku zpracovávat pro další práci, a jednak jej umožňuje nastavovat tak, aby odpovídal stavu, v němž se aplikace nachází. [Reh]

Perfect Scrollbar je zásuvný modul určený k zobrazování rolovacích lišt, jež jsou flexibilnější než základní systémové lišty a nezávislé na operačním systému. Dají se na rozdíl od těch systémových například vzhledově přizpůsobit zbytku aplikace, a tudíž nepůsobí tak obtruzivně. [Hyu17]

Vis.js je vizualizační knihovna navržená pro zobrazení velkého množství (i dynamicky generovaných) dat. Umožňuje navíc pokročilou manipulaci s daty, jako je přidávání a odebírání uzlů grafu, změny štítků uzlů etc. V RAW viewer je využit její modul *Network* k zobrazení detailů synsetu grafem. [Alm]

8.3 CSS

CSS neboli kaskádové styly jsou jazyk pro definování vzhledu prvků (obvykle náležejících do HTML dokumentu). Pojem kaskádový má tento jazyk v názvu proto, že vlastnosti prvků jsou děděny od rodičů a podle dědičnosti je prvků možné i vybírat. Prvotním smyslem užívání CSS bylo oddělení obsahu webové stránky od jejího vzhledu. To je podstatné pro udržitelnou správu stránky, větší flexibilitu a jasnější sémantiku zdrojového kódu. Použití CSS umožňuje zobrazit jednu stránku různými způsoby, jedním z nichž může být například vzhled přizpůsobený pro tisk či pro barvoslepé uživatele. [W3Sa]

Kaskádové styly jsou v RAW viewer využity k tomu, aby byla stránka s aplikací uživatelsky přívětivá, atraktivní a vhodně zobrazena na zařízeních různých velikostí (částečně je využito stylování podmíněného šířkou obrazovky). Třetí verze CSS je využita proto, že je nejnovější, je vyžadována pro kvalitní implementaci responzivity rozhraní a také ji jako takovou využívá Bootstrap. (O jeho využití více v podkapitole *Bootstrap* na straně 59.)

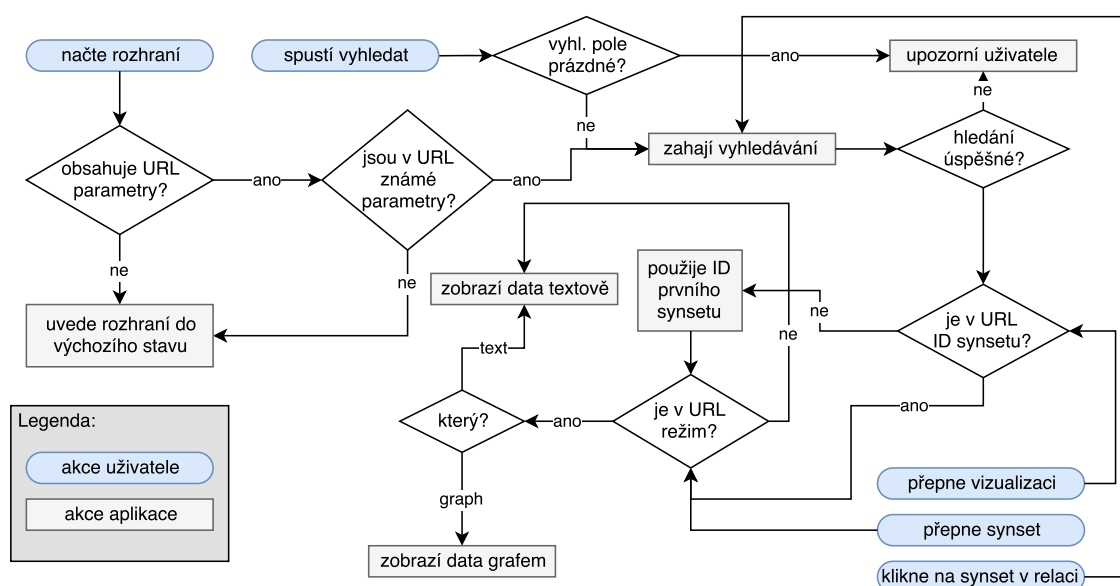
8.3.1 Bootstrap

Aplikace RAW viewer využívá Bootstrap, což je sada pomocných knihoven v HTML, CSS a JavaScriptu pro tvorbu webových stránek. Obsahuje šablony různých prvků, které se na webových stránkách vyskytují, definuje základní vlastnosti některých prvků, aby rozložení stránky bylo responzivní a mimo jiné také do jisté míry zajišťuje konformní vzhled napříč různými prohlížeči. [Boo]

Kapitola 9

Implementace rozhraní

Tato kapitola se věnuje funkcionalitě rozhraní a jejímu technickému provedení. Rozebírá, jak aplikace získává data od uživatele o tom, co má být vyhledáno, jak vypadá odpověď serveru s výsledky, již dostává zpět, a jak tuto odpověď zpracovává. Jejím cílem je přiblížit čtenáři způsob, jak celá aplikace pracuje.



Obrázek 9.1: Zjednodušený vývojový diagram logiky rozhraní

9.1 Získávání dat

Data, jež jsou ve výsledku zobrazována uživateli, jsou načítána ze serveru v závislosti na vstupu, který uživatel tím či oním způsobem zadal. Vstup uživatele může být dvojího druhu (byť se z hlediska výsledného zpracování nijak neliší). První možnost je, že uživatel zadává kýžené slovo do vyhledávacího pole, druhá, že klikne na odkaz vedoucí na jiný synset (tedy nikoliv odkaz, který pouze přepíná mezi již nalezenými synsety, ale ten, který spouští vyhledávání). Druhý případ se potom od prvního liší pouze v tom, že text ve vyhledávacím poli je buď identifikátor, nebo členské slovo synsetu¹, na nějž bylo kliknuto. Jde tedy

¹podrobněji o tomto rozdílu v kapitole *Textová reprezentace* na straně 52

o jistou zkratku, během níž se automaticky zadá dané členské slovo, nebo identifikátor daného synsetu do vyhledávacího pole a spustí se vyhledávání.

9.1.1 Parametry vyhledávání

Aby bylo možno vyhledávání spustit se správnými parametry, je nutno získat od uživatele dva údaje. Jedním je vyhledávané slovo nebo identifikátor synsetu, což je extrahováno z vyhledávacího pole, druhým je zdroj dat, v němž se má vyhledávat. Pro výběr druhého slouží rozbalovací nabídka pod vyhledávacím polem, která obsahuje seznam zdrojů dat, v nichž je možno vyhledávat.

Zde je na místě podotknout, že schopnost aplikačního rozhraní, jež zajišťuje samotné vyhledávání, vyhledávat jak podle slovní formy, tak dle identifikátoru, otevírá možnost vyhledávat konkrétní synset napříč dostupnými wordnety.

Po spuštění vyhledávání je na server s aplikačním rozhraním odeslán požadavek složený ze vstupních dat. Jeho forma je následující:

```
https://nlp.fi.muni.cz/~xrambous/fw/abulafia/ZDROJ?action=jsonvis&query=
SLOVO ,
```

kde ZDROJ zastupuje prohledávaný wordnet a SLOVO zastupuje vyhledávaný výraz.

9.1.2 Struktura odpovědi serveru

V případě úspěšného hledání je ze serveru přijata odpověď ve formátu JSON (bližší popis formátu v kapitole *JSON* na straně 57). Jeho strukturu lze popsat jako pole objektů², kde každý z těchto objektů reprezentuje jeden nalezený synset. Objekty synsetů pak obsahují jednak řetězce jako identifikátor, slovní druh či definici, jednak další pole. Pole pod klíčem *paths* slouží k ukládání cesty k danému synsetu, pole pod klíčem *synset* obsahuje jeho členská slova a pole s klíčem *children*³ obsahuje sémantické relace daného synsetu.

Struktura odpovědi může být ilustrována následující zjednodušenou ukázkou (řetězce za dvojicí lomítek jsou komentáře do ilustrace vložené pro účely této práce):

```
1  [
2      { // první nalezený synset
3          "id": "ENG20-02759263-n",
4          "pos": "n",
5          "def": "definice synsetu",
6          "synset": [ // detaily synsetu
7              {
8                  "name": "kotouč",
9                  "meaning": "2"
10             },
11             // ... další členská slova synsetu
12         ],
13         "paths": [ // cesty k~synsetu
14             { // první cesta
15                 "name": "path-1",
16                 "breadcrumbs": [
17                     { // nejvyšší synset v~cestě
18                         "id": "ENG20-00020486-n",
19                         "def": "",
```

²Pole je seřazená množina prvků, v terminologii jiných jazyků například seznam (*list*). Objekt je množina dvojic *klíč:hodnota*, v terminologii jiných jazyků je tento datový typ nazýván například slovníkem (*dictionary*) či asociativním polem (*associative array*).

³Klíč *children* se užívá všeobecně k označení pole s potomky.

```

20         "synset": [
21             {
22                 "name": "abstrakce",
23                 "meaning": "1"
24             }
25         ]
26     },
27     // ... další synsety v~cestě
28 ],
29 },
30 // ... další alternativní cesty
31 ],
32 "children": [ // sémantické relace synsetu
33     { // relace hyponymie
34         "name": "hyponym",
35         "children": [
36             {
37                 "id": "ENG20-04050919-n",
38                 "def": "",
39                 "synset": [
40                     {
41                         "name": "člunek",
42                         "meaning": "1"
43                     },
44                 ]
45             },
46             // ... další synsety v~dané relaci
47         ],
48     },
49     // ... další sémantické relace
50 ]
51 },
52 ... // další nalezené synsety
53 ]

```

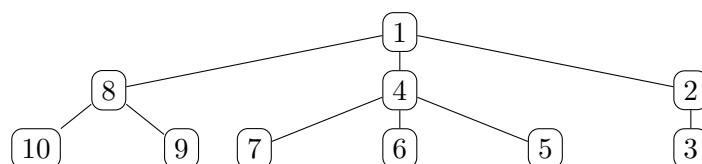
Pokud je vyhledávání neúspěšné, vrací server pouze prázdné pole. Tento stav je kontrolován aplikací a v případě, že nastane, je uživatel upozorněn, že dané hledání nevrátilo pro zvolený zdroj dat žádné výsledky.

9.2 Zpracování odpovědi

Získaná data jsou v několika krocích zpracována tak, aby jejich použití v aplikaci bylo jednodušší a jejich struktura odpovídala potřebám rozhraní. Jmenovitě je pole objektů se synsety serializováno do jednoho objektu, v němž lze odkazovat na potřebný synset univerzálnějším způsobem (podle jeho identifikátoru).

Textová reprezentace nevyžaduje další reorganizaci dat, ale zpracování odpovědi pro potřeby vizualizace grafem je poněkud komplexnější. Je evidentní, že pro vykreslení grafu je nutné mít k dispozici uzly a hrany, jimiž jsou uzly spojeny. V JSONu získaném ze serveru jsou tyto vztahy obsaženy pouze implicitně tak, že určitý objekt je rodičem dalších objektů, či potomkem výše postaveného objektu. Explicitní údaje o těchto vztazích ve vlastnostech objektů nejsou, a je tudíž nutné je pro knihovnu, která graf vykresluje, vytvořit. Pro tento účel obsahuje aplikace RAW viewer funkci `DFSThruSynsets()`, která prochází synsety v JSONu metodou procházení do hloubky⁴, každý nalezený synset zapisuje do seznamu uzlů a zároveň k němu do seznamu hran zapisuje uspořádanou dvojici,

⁴Procházení do hloubky (DFS, Depth First Search) je algoritmus pro prohledávání grafu, jenž prochází postupně celé větve grafu. Druhou možností je procházení do šířky (BFS, Breadth First Search), které prochází nejprve všechny uzly co nejbližší kořeni (tedy na stejné úrovni) a až poté přechází na nižší (hlubší) úroveň. [Eps96] Z hlediska aplikace RAW viewer se tyto dva přístupy liší jen tím, že vykreslují mírně odlišně uspořádané grafy (struktura je zachována)



Obrázek 9.2: Ilustrace pořadí, v jakém jsou uzly zapisovány při procházení grafu do šířky

která sestává z identifikátoru jeho rodičovského uzlu a jeho vlastního identifikátoru. Pořadí, v jakém jsou jednotlivé uzly procházeny, je znázorněno na grafu 9.2 na straně 63. Procházení do hloubky je implementováno pomocí zásobníku a rekurze. Během procházení dat je pomocí různých atributů nalezených objektů rozlišováno pět druhů uzlů, a to kořenový synset (**root**), tedy ten, jenž si uživatel vybral, jeho členská slova (**rootLeaf**), ostatní synsety (**synset**), jejich členská slova (**leaf**) a uzly představující sémantické relace (**semGroup**).

9.3 Zobrazení dat

Ve chvíli, kdy jsou data zpracována, může být jejich příslušná část, tedy jeden synset, zobrazena uživateli. Který synset se bude zobrazovat, je v případě, že v adrese (URL) existuje parametr synset specifikující, rozhodnuto na základě hodnoty tohoto parametru, jinak je vybrán pro další operace objekt se synsetem, jenž se v datech vyskytuje jako první.

Zároveň je uživateli v levém sloupci zobrazen seznam nalezených synsetů, tedy výpis jejich členských slov. Každý řádek je zároveň odkazem, kliknutím na nějž si uživatel může vybrat, kterou část dat si přeje prohlížet. Taková akce vyvolá výběr objektu, který obsahuje synset s identifikátorem shodným s tím, který byl uveden v URL odkazu.

Objekt obsahující příslušnou část dat je následně předán funkci **renderView()**, která na základě stavu aplikace uloženého v adrese zavolá funkci zobrazující data textovou či grafickou reprezentací.

Textové zobrazení dat je řešeno jednoduchým naplňováním částečně předpřipraveného HTML dokumentu očekávanými daty. Rozhraní počítá s neúplností dat, takže není v tomto ohledu striktní a pokud se požadované informace v datech nevyskytují (typicky definice u nezanedbatelného počtu konceptů v českém wordnetu chybí), je daná struktura naplněna prázdným řetězcem a nezobrazuje se. Kromě informací, jejichž existence je v datech nejistá, se v nich vyskytují i informace s předem neznámou délkou. Mezi takové patří například počet synsetů odpovídajících hledanému výrazu, pro každý z nich pak počet relací, jichž jsou členem, počet dalších synsetů v dané relaci či počet členských slov jednotlivých zobrazených synsetů. Zobrazení takových informací je v rozhraní řešeno cykly a z hlediska struktury HTML to bývají seznamy, jakožto prvky nejvhodnější pro výpis položek. Výjimkou jsou členská slova synsetů, ta jsou vypisována jako řetězce znaků rozdělené čárkami (pomocí funkce **synString()**).

Grafické zobrazení realizuje knihovna Vis.js, pro kterou jsou vstupem data vytvořená ze serverové odpovědi (struktura a tvorba těchto dat je popsána v kapitolách *Struktura odpovědi serveru* na straně 61 a *Zpracování odpovědi* na straně 62). Nastavení vykreslovací

funkce je upraveno tak, aby výsledný graf byl statický a s jeho uzly nebylo možné tažením myši hýbat. Důvody k tomuto nastavení jsou rozebrány v kapitole *Grafická reprezentace* na straně 54. Mezi dalšími nastaveními jsou například parametry zajišťující penalizaci překryvu uzlů (nutno podotknout, že jakkoliv vysoká tato penalizace může být, nepodařilo se najít taková nastavení, aby k ní za žádných okolností – zejména na velkých synsetech – s jistotou nedošlo), vzhled jednotlivých druhů uzlů⁵ či parametry stabilizace grafu. Stabilizace grafu je proces, který probíhá poté, co jsou knihovnou vytvořeny na vykreslovacím plátně všechny uzly a hrany mezi nimi. Vykreslovací funkce využívá emulaci fyzikálních zákonů mezi jednotlivými prvky, takže uzly se odpuzují podobně, jako se v reálném světě odpuzují elektrony, a hrany se chovají jako pružiny, které mají ideální délku. Kombinace odpuzivých a přitažlivých sil zajišťuje tendenci k rovnoměrnému rozmístění prvků na ploše.

9.4 Uchovávání stavu v URL

Aplikace svůj stav reflektuje v URL a umožňuje tak případné pozdější obnovení do identického stavu, v jakém se v téměř⁶ libovolném okamžiku právě nachází. Proto je nutné uchovávat zvolený zdroj dat, obsah hledacího pole, zvolenou část výsledků pro zobrazení (levý sloupec) a aktivní režim zobrazení dat (textový či grafem).

Vzhledem k tomu, že se ve všech případech jedná o relativně krátké textové informace, lze je pohodlně ukládat jako parametry URL⁷. Ty jsou nepovinnou částí adresy a mohou obsahovat data ve formátu `klíč:hodnota`, například `http://www.example.org/index.html?klic=hodnota`. [Ber⁺05] Ačkoliv Berners-Lee [Ber⁺05] nespecifikuje použití více dvojic `klíč:hodnota` v parametrech URL, běžně se toto implementuje oddělováním jednotlivých dvojic znakem ampersand (&). Tak je řešena problematika ukládání více údajů i v rozhraní RAW viewer :

```
...wordnet-ui.html?input=kolo&source=wncz&vis=graph#ENG20-03403613-n
```

Další částí adresy obsahující informace o stavu aplikace je fragment, tedy řetězec znaků za znakem křížku (#). Fragment je podobně jako parametry nepovinná část adresy, která se využívá na bližší identifikaci informace v dokumentu, tedy může být kupříkladu odkazem na podsekcí v dokumentu. [Ber⁺05] Všeobecně se fragment používá k odkazování uvnitř dokumentu lokálně na straně uživatele, naproti tomu parametry bývají odesílány na server pro účely parametrizace požadavků. V rozhraní RAW viewer je fragment využíván k ukládání identifikátoru zvoleného synsetu, který má být uživateli zobrazen.

Při načtení v prohlížeči aplikace nejprve zjišťuje, zda adresa obsahuje parametry, ze kterých by se měl obnovit stav. Pokud ne (tedy neobsahuje žádné parametry, či se existující parametry neshodují s těmi používanými aplikací), je rozhraní uvedeno do výchozího stavu. V opačném případě proběhne pokus o uvedení rozhraní do stavu odpovídajícího hodnotám parametrů, tedy spustí se vyhledávání podle parametru `input` ve wordnetu zvoleném podle parametru `source`. Pokud hledání proběhne úspěšně, zobrazí se v režimu vizualizace podle

⁵vzhled prvků grafu není možné definovat externími pravidly v CSS

⁶adresa samozřejmě nereflektuje například průběh vyhledávání, tudíž stránku nelze do jeho procesu obnovit, pouze na jeho spuštění

⁷běžně označované jako *query strings*

parametru `vis` synset, jehož identifikátor odpovídá fragmentu. Pokud některý z parametrů chybí nebo neobsahuje platná data, použijí se výchozí pevně nastavené parametry.

Kapitola 10

Možnosti dalšího vývoje

Ačkoliv je v rámci této práce vytvořená implementace funkčním rozhraním k datům wordnetů, skýtá zároveň široké možnosti vylepšení. Tato kapitola stručně probírá ty, které byly identifikovány jako nejzajímavější pro zvýšení reálné použitelnosti rozhraní RAW viewer .

Jelikož už nyní aplikace umožňuje pracovat s více wordnety, je evidentní, že by bylo vhodné dát uživateli možnost přepnout jazyk rozhraní do jeho vlastního jazyka. Množství textů, které by bylo potřeba lokalizovat, sice není nijak enormní, navíc dosavadní jazyk rozhraní je angličtina jakožto lingua franca, přesto by lokalizace těch několika řetězců, jež se v rozhraní vyskytují, mohla mít potenciál zvýšit komfort uživatele při používání rozhraní.

S tímto souvisí i další krok, který by jistě vedl ke zvýšení komfortu laického koncového uživatele. V rozhraní se momentálně vyskytují názvy sémantických relací přímo ve formě ze serverové odpovědi, která vychází z lingvistických názvů příslušných vztahů. Bylo by tedy vhodné zajistit jejich překlad do neodborného jazyka tak, aby i uživatel bez lingvistického vzdělání byl schopen identifikovat, o jakou relaci jde. Lze například předpokládat, že spíše než pojem hyponymum bude takovému uživateli srozumitelnější označení **významy podřadné** etc.

Samotné vyhledávání by bylo možné usnadnit uživateli tak, že by mu byly na základě částečného vstupu nabízeny výrazy, jež se ve zvoleném wordnetu vyskytují. Takovou nápovědu používá například rozhraní WordVis. [Ver10]

Pokud by rozhraní mělo být využito jako výukový materiál, bylo by vhodné uvažovat o jeho propojení například s Internetovou jazykovou příručkou¹, z níž by bylo možné čerpat definice či slovní formy.

Dalším směrem, kterým by se budoucí vývoj mohl ubírat, je rozšíření podpory více jazyků. V současné implementaci sice již existuje možnost přepínat jazyky hledání (pomocí přepínání zdrojů dat) a je i možné díky identifikátorům synsetů, které jsou jednotné přes více jazyků, vyhledávat jeden koncept v různých jazycích. Bylo by však vhodné umožnit jednodušší a rychlejší cestu, jak procházet významy slov ve vícejazyčném kontextu.

V neposlední řadě jsou možnosti rozvoje i v detailech týkajících se uživatelské zkušenosti s rozhraním. V tomto ohledu se naskýtají možnosti rozšíření schopností aplikace obsloužit uživatele různými způsoby znevýhodněné, ať už jde o jejich fyzické znevýhodnění (například poškození zraku) či znevýhodnění v oblasti programového vybavení jejich zařízení (tedy omezená podpora technologií vyžadovaných pro správný běh aplikace, zejména

¹<http://prirucka.ujc.cas.cz>

JavaScriptu). Nutno podotknout, že co se prvého týče, byla během návrhu grafické stránky rozhraní snaha o co nejvyšší přístupnost, takže byl zvolen vzhled s vysokým kontrastem kontur a zavádělo se co nejméně prvků závislých na pohybu kurzoru myši po obrazovce, takže je většina prvků ovladatelná klávesnicí, byť méně pohodlně.

Závěr

Cílem praktické části práce bylo vytvořit funkční uživatelské rozhraní k sémantickým sítím typu wordnet. Vlastnosti, které by mělo takové rozhraní mít, byly definovány na základě podrobného empirického rozboru některých existujících rozhraní a rozebrány v kapitole *Návrh rozhraní*. Byly určeny klíčové nedostatky testovaných rozhraní vzhledem k rozvoji technologií a trendům v oblasti toho, jak je rozhraním zpřístupňujícím data přistupováno. Nejrozšířenější nedostatek existujících rozhraní byla jejich nedostatečná univerzalita, tedy (ne)schopnost obsloužit uživatele bez ohledu na to, zda pro přístup k danému rozhraní chtějí použít mobilní zařízení s relativně malou obrazovkou, tablet či klasický počítač a bez ohledu na to, který operační systém na svém zařízení používají. Přitom nezávislost na zařízení a platformě je z dnešního hlediska klíčovou vlastností, ježto poměr uživatelů, kteří pracují na mobilním zařízení, a těch, kteří pracují na klasickém počítači, se stále posouvá ve prospěch těch prvních.

Na základě zhodnocení potřebných parametrů rozhraní, které by nebylo zatíženo vystavšími nedostatky testovaných rozhraní, bylo definováno, že nové rozhraní by mělo být tzv. webové, tedy zobrazitelné ve standardních prohlížečích určených k procházení sítě WWW. To jednak nenutí uživatele instalovat přídatné programové vybavení na svůj počítač, jednak zajišťuje nezávislost na operačním systému, který uživatel používá.

Další podstatnou vlastností související s univerzalitou, kterou by nové rozhraní mělo mít, aby přineslo oproti existujícím rozhraním přidanou hodnotu, je schopnost pracovat s více zdroji informací (více wordnety) a mít otevřený kód. Schopnost práce s více zdroji informací implikuje univerzální formát vstupních dat, což je v kombinaci s otevřeným kódem důležité proto, aby bylo možné rozhraní nasadit nezávisle na již existujících instalacích, modifikovat podle konkrétních potřeb a ideálně též vylepšovat. Všechny komponenty rozhraní, kterých je pro jeho funkci využíváno (jQuery, vis.js etc.), používají licenci MIT, což umožňuje rozhraní vytvořené v rámci této práce bez omezení redistribuovat a modifikovat.

Po analýze všech těchto požadavků bylo vytvořeno rozhraní určené pro webové prohlížeče, které na zařízení uživatele neklade žádné nestandardní požadavky po stránce technického ani programového vybavení. Aby bylo možné používat uživatelské rozhraní na zařízení (téměř) jakékoliv velikosti, bylo nové rozhraní vyvinuto za použití moderních technologií a koncipováno jako tzv. responzivní, tedy schopné se dynamicky přizpůsobit velikosti zobrazovací plochy beze ztráty čitelnosti obsahu a jednoduchosti navigace v něm. Vzhled rozhraní je minimalistický, aby se uživatel mohl zaměřit na obsah. Zároveň se však snaží být elegantní a nadčasový.

Jako každý projekt, který se zabývá programovým vývojem, ani tento není bez možností dalšího pokračování, kterému se věnuje kapitola *Možnosti dalšího vývoje*. Možné směry v tomto ohledu naznačené v kapitole bezpochyby nejsou jediné, kterými by se roz-

voj aplikace mohl ubírat. Vzhledem k tomu, že již nyní aplikace umožňuje práci s různojazyčnými sémantickými sítěmi, se zdá být nejbližším dalším vhodným cílem implementace lokalizace rozhraní do dalších jazyků a překlad lingvistických termínů do pojmů laickými uživateli srozumitelných.

Jak bylo naznačeno v teoretické části této práce, sémantické sítě typu wordnet navzdory svému původnímu určení mohou sloužit lidským uživatelům. K tomu je ovšem potřebné rozhraní, které bude použitelné nejen pro lingvisticky vzdělané uživatele a bude odpovídat současným trendům technologickým i vizuálním. Praktická část této práce navrhuje a realizuje takové rozhraní, jež je vhodným základem pro další kroky směrem ke zpřístupnění wordnetů lidským uživatelům, zejména z řad studentů.

Bibliografie

- [Alm] ALMENDE B.V. *vis.js* [online] [cit. 25.kvěť. 2017]. Dostupné z: <http://visjs.org/>.
- [Ama13] AMADO, Christian. *Can Windows Phone Support Java?* [Stack Overflow]. 2013 [cit. 30.kvěť. 2017]. Dostupné z: <https://stackoverflow.com/a/15501535>.
- [Ber⁺05] BERNERS-LEE, T. et al. *Request for Comments: 3986: Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax* [online]. 2005 [cit. 28.kvěť. 2017]. Dostupné z: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3986.txt>.
- [Boo] BOOTSTRAP. *Bootstrap* [online] [cit. 14.srp. 2017]. Dostupné z: <https://getbootstrap.com>.
- [Bos] BOSTOCK, Mike. *D3 – Data-Driven Documents* [online] [cit. 18.srp. 2017]. Dostupné z: <https://d3js.org>.
- [Bou17] BOU, Bernard. *Treebolic 3* [online]. 2017 [cit. 7.srp. 2017]. Dostupné z: <http://treebolic.sourceforge.net/en>.
- [CQ69] COLLINS, Allan M; QUILLIAN, M Ross. Retrieval time from semantic memory. *Journal of verbal learning and verbal behavior*. 1969, roč. 8, č. 2, s. 240–247.
- [Cor] CORNETTO. *Getting started with the Cornetto demo* [online] [cit. 17.dub. 2017]. Dostupné z: <http://cornetto.clarin.inl.nl/help/GettingStarted.pdf>.
- [Cru86] CRUSE, D Alan. *Lexical semantics*. Cambridge University Press, 1986.
- [Ecm13] ECMA INTERNATIONAL. *Standard EMCA-404: The JSON Data Interchange Format* [online]. 2013 [cit. 31.kvěť. 2017]. Dostupné z: <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-404.pdf>.
- [Eli15] ELIZABETH, Laura. *Should You Develop a Desktop or Web App?* [online]. 2015 [cit. 29.dub. 2017]. Dostupné z: <https://www.sitepoint.com/web-desktop-apps/>.
- [Eps96] EPSTEIN, David. ICS 161: Design and Analysis of Algorithms. Lecture notes for Feb. 15, 1996 [online]. 1996, s. 1–5 [cit. 28.kvěť. 2017]. Dostupné z: <https://www.ics.uci.edu/~eppstein/161/960215.html>.
- [Fel05] FELLBAUM, Christiane. WordNet and wordnets. *Encyclopedia of Language and Linguistics*. Second. 2005, s. 665–670.

- [Fil⁺94] FILIPEC, Josef et al. *Slovník spisovné češtiny pro školu a veřejnost* [online]. 1., cit. dle Internetové jazykové příručky. Praha: Academia, 1994 [cit. 16. srp. 2017]. Dostupné z: <http://prirucka.ujc.cas.cz>.
- [FJ65] FILLENBAUM, Samuel; JONES, Lyle V. Grammatical contingencies in word association. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*. 1965, roč. 4, č. 3, s. 248–255.
- [FBS04] FILLMORE, Charles J et al. FrameNet as a “Net”. In: *Language Resources and Evaluation Conference*. 2004.
- [FN11] FIŠER, Darja; NOVAK, Jernej. Visualizing sloWNet. *Proceedings of the Electronic Lexicography in the 21st Century (eLex 2011)* [online]. 2011, s. 76–82 [cit. 25. dub. 2017]. Dostupné z: <https://goo.gl/G8x9Uu>.
- [FNE12] FIŠER, Darja et al. sloWNet 3.0: development, extension and cleaning. In: *GWC 2012 6th International Global Wordnet Conference* [online]. 2012, s. 113 [cit. 23. dub. 2017].
- [Gar⁺05] GARRETT, Jesse J. et al. *Ajax: A new approach to web applications* [online]. 2005 [cit. 26. květ. 2017]. Dostupné z: https://courses.cs.washington.edu/courses/cse490h/07sp/readings/ajax_adaptive_path.pdf.
- [Gar82] GARRETT, Merrill F. Production of speech: Observations from normal and pathological language use. *Normality and pathology in cognitive functions*. 1982, s. 19–76.
- [Gar] GARSHOL, Lars Marius. Metadata? Thesauri? Taxonomies? Topic Maps! *Ontopia* [online] [cit. 1. dub. 2017]. Dostupné z: <http://www.ontopia.net/topicmaps/materials/tm-vs-thesauri.html#N773>.
- [Gia] GIANOLIO, Mateo. *An interactive visualization of the Princeton WordNet database*. [online] [cit. 1. květ. 2017]. Dostupné z: <http://mateogianolio.com/wordnet-visualization/>.
- [Giz12] GIZMO. *Can we run Java applictions on iPhone?* [Stack Overflow]. Ed. ALMOG, Shai. 2012 [cit. 30. květ. 2017]. Dostupné z: <https://stackoverflow.com/a/1193541>.
- [Gloa] GLOBAL WORDNET ASSOCIATION. *GWA Base Concepts* [online]. Global WordNet Association [cit. 6. dub. 2017]. Dostupné z: <http://globalwordnet.org/gwa-base-concepts/>.
- [Glob] GLOBAL WORDNET ASSOCIATION. *Wordnets in the World* [online] [cit. 25. břez. 2017]. Dostupné z: <http://globalwordnet.org/wordnets-in-the-world/>.
- [GM96] GOSLING, James; MCGILTON, Henry. The Java language environment. *Sun Microsystems Computer Company* [online]. 1996, roč. 2550 [cit. 29. dub. 2017]. Dostupné z: <http://www.oracle.com/technetwork/java/langenv-140151.html>.

- [Gro⁺14] GRONLI, Tor-Morten et al. Mobile application platform heterogeneity: Android vs Windows Phone vs iOS vs Firefox OS. In: *Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2014 IEEE 28th International Conference on*. 2014, s. 635–641.
- [Hav⁺71] HAVRÁNEK, Bohuslav et al. *Slovník spisovného jazyka českého* [online]. 1., cit. dle Internetové jazykové příručky. Praha: Academia, 1960-1971 [cit. 16. srp. 2017]. Dostupné z: <http://prirucka.ujc.cas.cz>.
- [Hei16] HEISLER, Yoni. *Mobile internet usage surpasses desktop usage for the first time in history* [online]. 2016 [cit. 29. dub. 2017]. Dostupné z: <http://bgr.com/2016/11/02/internet-usage-desktop-vs-mobile/>.
- [Him14] HIMANSHU. *Can you run 'normal' Java programs on Android?* [Android Enthusiasts Stack Exchange]. 2014 [cit. 30. květ. 2017]. Dostupné z: <https://android.stackexchange.com/a/92854>.
- [HVR08] HORÁK, Aleš et al. The development of a complex-structured lexicon based on WordNet. In: *Proceedings of the 4th International Global WordNet Conference (GWC-2008)* [online]. 2008, s. 200–208 [cit. 17. dub. 2017]. Dostupné z: http://vossen.info/docs/2008/gwc2008_hales_vossen_xrambous.pdf.
- [Hyu17] HYUNJE, Jun. *Perfect Scrollbar* [online]. 2017 [cit. 25. květ. 2017]. Dostupné z: <https://github.com/noraesae/perfect-scrollbar>.
- [Chr⁺02] CHRISTODOULAKIS, Dimitris N et al. BalkaNet: A Multilingual Semantic Network for Balkan Languages. *EUROPRIX Summer School, Salzburg Austria* [online]. 2002 [cit. 26. květ. 2017]. Dostupné z: http://www.ceid.upatras.gr/Balkanet/pubs/GWA_paper_03.pdf.
- [IMS13] IMSOP. *Why should I not use HTML frames?* [Meta Stack Overflow]. 2013 [cit. 13. srp. 2017]. Dostupné z: <https://stackoverflow.com/a/15938545/2216968>.
- [Isa13] ISAKOV, Konstantin. *GoldenDict - About* [online]. 2013 [cit. 29. dub. 2017]. Dostupné z: <http://goldendict.org/>.
- [jQu] JQUERY. *What is jQuery?* [online] [cit. 25. květ. 2017]. Dostupné z: <https://jquery.com/>.
- [KM02] KAMPS, Jaap; MARX, Maarten. Visualizing wordnet structure. In: *Proc. of the 1st International Conference on Global WordNet*. 2002, s. 182–186.
- [Kle02] KLEPOUSNIOTOU, Ekaterini. The processing of lexical ambiguity: Homonymy and polysemy in the mental lexicon. *Brain and Language*. 2002, roč. 81, č. 1, s. 205–223.
- [LL82] LEHRER, Adrienne; LEHRER, Keith. Antonymy. *Linguistics and philosophy*. 1982, roč. 5, č. 4, s. 483–501.

- [LK04] LEMNITZER, Lothar; KUNZE, Claudia. Using WordNets in Teaching Virtual Courses of Computational Linguistics. In: SOJKA, P. et al. (ed.). *Second International WordNet Conference, GWC 2004* [online]. 2004, s. 374 [cit. 23. dub. 2017]. Dostupné z: [http://eridanus.cz/id32402/jazyk/jazykove\(2da/aplikovana\(1_lingvistika/Ontologie/WordNet/Conference_2004/84.pdf](http://eridanus.cz/id32402/jazyk/jazykove(2da/aplikovana(1_lingvistika/Ontologie/WordNet/Conference_2004/84.pdf).
- [Lot03] LOTKO, Edvard. *Slovník lingvistických termínů pro filology*. 3. nezm. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2003. ISBN 80-244-0720-5.
- [McG13] MCGRANE, Karen. The rise of the mobile-only user. *Harvard Business Review* [online]. 2013 [cit. 23. čvc 2017]. Dostupné z: <https://hbr.org/2013/05/the-rise-of-the-mobile-only-us>.
- [Mil⁺90] MILLER, George A et al. Introduction to WordNet: An on-line lexical database. *International journal of lexicography*. 1990, roč. 3, č. 4, s. 235–244.
- [MOZ17] MOZILLA DEVELOPER NETWORK. *XMLHttpRequest* [online]. 2017 [cit. 1. červ. 2017]. Dostupné z: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/XMLHttpRequest>.
- [Moz17] MOZILLA FOUNDATION. *Why do Java, Silverlight, Adobe Acrobat and other plugins no longer work?* [online]. 2017 [cit. 29. dub. 2017]. Dostupné z: <https://support.mozilla.org/en-US/kb/npapi-plugins>.
- [NP10] NAVIGLI, Roberto; PONZETTO, Simone Paolo. BabelNet: Building a Very Large Multilingual Semantic Network. In: *Proceedings of the 48th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics* [online]. Uppsala, Sweden: Association for Computational Linguistics, 2010, s. 216–225 [cit. 27. dub. 2017]. ACL '10. Dostupné z: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1858681.1858704>.
- [NP12] NAVIGLI, Roberto; PONZETTO, Simone Paolo. BabelNetXplorer: A Platform for Multilingual Lexical Knowledge Base Access and Exploration. In: *Proceedings of the 21st International Conference on World Wide Web* [online]. Lyon, France: ACM, 2012, s. 393–396 [cit. 27. dub. 2017]. WWW '12 Companion. ISBN 978-1-4503-1230-1. Dostupné z: <http://doi.acm.org/10.1145/2187980.2188057>.
- [Nev05] NEVĚŘILOVÁ, Zuzana. Visual Browser: A Tool for Visualising Ontologies. In: *Proceedings of I-KNOW'05*. Graz, Austria: Know-Center ve spolupráci s Graz Uni, Joanneum Research a Springer Pub. Co., 2005, s. 453–461.
- [Nie05] NIELSEN, Jakob. *Scrolling and Scrollbars* [online]. 2005 [cit. 22. dub. 2017]. Dostupné z: <https://www.nngroup.com/articles/scrolling-and-scrollbars/>.
- [Ora17] ORACLE. *Oracle Mobile Application Framework 2.4.1* [online]. 2017 [cit. 11. srp. 2017]. Dostupné z: <http://docs.oracle.com/middleware/maf241/mobile/index.html>.
- [Oxf03] OXFORD UNIVERSITY PRESS, Dorling Kindersley. *Illustrated Oxford dictionary*. Rev. ed. London, Oxford: Dorling Kindersley, 2003. ISBN 07-513-6436-3.

- [PS04] PALA, Karel; SMRŽ, Pavel. Building czech wordnet. *Romanian Journal of Information Science and Technology* [online]. 2004, roč. 7, č. 1-2, s. 79–88 [cit. 4. květ. 2017]. Dostupné z: http://nlp.fi.muni.cz/publications/romjist2004_pala_smrz/romjist2004_pala_smrz.pdf.
- [PŠ13] PALA, Karel; ŠEVEČEK, Pavel. Česká lexikální databáze typu WordNet. *Feedback*. 2013, roč. 48, č. A47.
- [PW06] PARADIS, Carita; WILLNERS, Caroline. Antonymy and negation—The boundedness hypothesis. *Journal of pragmatics*. 2006, roč. 38, č. 7, s. 1051–1080.
- [PST08] PAZIENZA, Maria Teresa et al. A Bottom-up Comparative Study of EuroWordNet and WordNet 3.0 Lexical and Semantic Relations. In: *Language Resources and Evaluation Conference*. 2008.
- [Pri10] PRINCETON UNIVERSITY. *About WordNet* [online]. Princeton University, 2010 [cit. 30. čvc 2017]. Dostupné z: <http://wordnet.princeton.edu>.
- [Ram12] RAMASWAMY, Sundaram. *Artha The Open Thesaurus* [online]. 2012 [cit. 29. dub. 2017]. Dostupné z: <http://artha.sourceforge.net/wiki/index.php/Home>.
- [Ram17] RAMBOUSEK, Adam. *osobní sdělní*. (vědecký, výzkumný a vývojový asistent, Centrum zpracování přirozeného jazyka - Fakulta informatiky). Brno, 22. 4. 2017.
- [Reh] REHM, Rodney. *URI.js: Intro* [online] [cit. 25. květ. 2017]. Dostupné z: <https://medialize.github.io/URI.js/>.
- [Rej12] REJZEK, Jiří. *Český etymologický slovník*. 2., nezměn. vyd. Voznice: Leda, 2012. ISBN 978-80-7335-296-7.
- [RH04] RICHARDS, John T.; HANSON, Vicki L. Web accessibility: a broader view. In: *Proceedings of the 13th conference on World Wide Web - WWW '04* [online]. ACM Press, 2004 [cit. 21. dub. 2017]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1145%2F988672.988683>.
- [Ric08] RICHENS, Tom. Anomalies in the WordNet verb hierarchy. In: *Proceedings of the 22nd International Conference on Computational Linguistics-Volume 1* [online]. 2008, s. 729–736 [cit. 1. květ. 2017]. Dostupné z: <http://anthology.aclweb.org/C/C08/C08-1092.pdf>.
- [SC] SZYMAŃSKI, Julian; CHODOR, Marek. *WordNet Solution* [online] [cit. 18. srp. 2017]. Dostupné z: <http://wordventure.eti.pg.gda.pl>.
- [SDB07] SZYMAŃSKI, J et al. Cooperative editing approach for building wordnet database. In: *Proceedings of the XVI international conference on system science* [online]. 2007, s. 448–457 [cit. 18. dub. 2017]. Dostupné z: <http://wordventure.eti.pg.gda.pl/COOPERATIVE%20EDITING%20APPROACH%20FOR%20BUILDING%20WORDNET%20DATABASE-kd-1.0.pdf>.
- [Tou86] TOURETZKY, David S. *The mathematics of inheritance systems*. Morgan Kaufmann, 1986. ISBN 09-346-1306-0.

- [TCS04] TUFIS, Dan et al. BalkaNet: Aims, methods, results and perspectives. A general overview. *Romanian Journal of Information science and technology*. 2004, roč. 7, č. 1–2, s. 9–43. Dostupné také z: https://www.researchgate.net/profile/Sofia_Stamou/publication/230585378_BalkaNet_Aims_Methods_Results_and_Perspectives_-_A_General_Overview/links/548ee5a20cf214269f262f3e.pdf.
- [Tuc⁺12] TUCH, Alexandre N et al. The role of visual complexity and prototypicality regarding first impression of websites: Working towards understanding aesthetic judgments. *International Journal of Human-Computer Studies* [online]. 2012, roč. 70, č. 11, s. 794–811 [cit. 30. dub. 2017]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581912001127>.
- [Ver10] VERCROY, Steven. *About WordVis* [online]. 2010 [cit. 23. dub. 2017]. Dostupné z: <http://wordvis.com/about.html>.
- [Vos98] VOSEN, Piek. Introduction to eurowordnet. *Computers and the Humanities*. 1998, roč. 32, č. 2–3, s. 73–89.
- [Vos97] VOSEN, Piek et al. EuroWordNet: a multilingual database for information retrieval. In: *Proceedings of the DELOS workshop on Cross-language Information Retrieval*. 1997, s. 5–7.
- [W82] W. Hutchins, John. The evolution of machine translation systems. *Lawson* [online]. 1982, s. 21–37 [cit. 26. čvc 2017]. Dostupné z: <http://mt-archive.info/Aslib-1981-Hutchins-1.pdf>.
- [W3Sa] W3SCHOOLS. *CSS Introduction* [online] [cit. 14. srp. 2017]. Dostupné z: https://www.w3schools.com/css/css_intro.asp.
- [W3Sb] W3SCHOOLS. *HTML Canvas Reference* [online] [cit. 23. dub. 2017]. Dostupné z: https://www.w3schools.com/tags/ref_canvas.asp.
- [W3Sc] W3SCHOOLS. *HTML5 Browser Support* [online] [cit. 30. květ. 2017]. Dostupné z: https://www.w3schools.com/html/html5_browsers.asp.
- [W3Sd] W3SCHOOLS. *JSON vs XML* [online] [cit. 1. červ. 2017]. Dostupné z: https://www.w3schools.com/js/js_json_xml.asp.
- [Wal13] WALKER, Tommy. *Why “Simple” Websites Are Scientifically Better* [online]. 2013 [cit. 30. dub. 2017]. Dostupné z: <https://conversionxl.com/why-simple-websites-are-scientifically-better/>.
- [Wor] WORDNET REFERENCE MANUAL. *wngloss – glossary of terms used in WordNet system* [online] [cit. 1. květ. 2017]. Dostupné z: <https://wordnet.princeton.edu/wordnet/man/wngloss.7WN.html>.