

Dynamická sémantika a logika

Štěpán Jůza

Bakalářská práce

Univerzita Karlova

Fakulta humanitních studií

Praha 2009

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Praze dne 5. 1. 2009

.....
Štěpán Jůza

Obsah

| | |
|---------------------------------------|----|
| Předmluva | 4 |
| Úvod | 5 |
| Problematické zachycení anafory | 7 |
| Sémantika změn záznamů | 9 |
| Teorie reprezentace diskurzu | 13 |
| Informační stavy | 21 |
| Dynamická predikátová logika | 23 |
| Závěr | 30 |
| Seznam použité literatury | 31 |

Předmluva

Na přelomu sedmdesátých a osmdesátých let dvacátého století se začaly objevovat dynamicky zaměřené sémantické teorie přirozeného jazyka – teorie reprezentace diskursu Hanse Kampa, sémantika změn záznamů Irene Heimové a mnohé další. Jejich společnou základní ideu lze vyložit na pojmu informačního stavu. Informační stav si můžeme zjednodušeně představit jako soubor znalostí tvořících kontext nějaké výpovědi. Dynamický přístup si všímá skutečnosti, že věta může informační stav (kontext) změnit, její význam proto dává do souvislosti se způsobem, jakým tak činí. Dynamický náhled inspiroval také autory, kteří za vhodný nástroj sémantické analýzy jazyka považují logiku. Jako příklad si podrobněji představíme dynamickou predikátovou logiku Jeroena Groenendijka a Martina Stokhofa.

Dynamický přístup přinesl plodný pohled na sémantickou analýzu jazyka a uplatnil se zejména při řešení problémů spjatých s anaforickým odkazováním v rámci jednotlivých vět i vícevětých textů. V práci se pokusím na několika sémantických koncepcích ukázat přínos dynamického přístupu k sémantické analýze přirozeného jazyka v rámci formální sémantiky.

Úvod

Formální sémantika se pokouší modelovat strukturální sémantické vlastnosti přirozeného jazyka¹ prostřednictvím logiky a matematiky. Za nejstaršího proponenta takového přístupu se považuje matematik Gottlob Frege, který ve své práci z konce devatenáctého století inspiroval vznik prvního formálního přístupu k sémantice, tzv. extenzionálního pojetí. Frege nahlíží jazyk logickým prizmatem a z této pozice pojímá význam věty jako pravdivostní hodnotu:

„Každou oznamovací větu, v níž záleží na významu slov, je tedy třeba chápat jako vlastní jméno, a její význam, pokud existuje, je buďto pravdivostí nebo nepravdivostí.“²

Domyslíme-li však Fregovu koncepci do konce, můžeme snadno nahlédnout její hlavní slabinu, kterou trpí i extenzionální přístup. Podle Fregova pojetí by totiž všechny věty se stejnou pravdivostní hodnotou byly synonymní, což je zjevně nepřípustné, neboť bychom pak mohli v každém souvětí nahrazovat jednotlivé části

¹ Do zkoumání pojmu „přirozený jazyk“ se zde pouštět nebudeme, pro cíl sledovaný v této práci není takové zkoumání podstatné. Postačí, budeme-li přirozený jazyk „intuitivně“ chápat jako jazyk, který lidé používají ke komunikaci, často budeme hovořit pouze o jeho fragmentu.

² Frege, G.: *Über Sinn und Bedeutung*, Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik 100, 1892, str. 25-50, citace převzata z českého překladu Jiřího Fialy: *O smyslu a významu*“, Scientia & Philosophia, 1992.

věťami se stejnou pravdivostní hodnotou ad absurdum. I přes svou nepřijatelnost však Fregova koncepce přináší dva náhledy, které jsou pro další rozvoj formální sémantiky značně důležité. Nelze mu totiž upřít jisté novátorství v aplikaci logického přístupu na sémantiku přirozeného jazyka, a navíc se v jeho koncepci objevuje náznak jednoho ze základních principů formální sémantiky, principu skladebnosti, neboli kompozicionality. Podle tohoto principu je obecně význam každého výrazu nějakým způsobem dán významy částí, z nichž se skládá. V extenzionálním pojetí je například výrazem každého výrazu jeho extenze: Významem jména je předmět, který toto jméno označuje, významem predikátu je množina všech individuí, o kterých daný predikát platí, tj. funkce³, která každému jménu (jmenné frázi) přiřazuje pravdivostní hodnotu podle toho, zda o něm příslušný predikát platí. Významem věty je pravdivostní hodnota. Významy složených výrazů můžeme v extenzionálním rámci získat z významů výrazů jednodušších, což zaručuje právě kompozicionální výstavba extenzionálního modelu. Princip kompozicionality zde nebudeme zkoumat podrobněji, v dalším textu jej využijeme jako běžný metodologický předpoklad formální sémantiky, z něhož vyplývají i další intuitivně žádoucí sémantické principy, které například umožňují zaměňovat části složených výrazů synonymními výrazy, aniž by se změnil význam celku.

Nedostatečnost extenzionálního pojetí vedla v průběhu 20. století k rozvoji dalších formálně-sémantických teorií. Intenzionální sémantika tematizuje přílišnou hrubost extenzionálního přístupu a prostřednictvím intenze, tj. extenze relativizované k možným světům, řeší např. modality možnosti a nutnosti. Hyperintenzionální přístupy lze následně nahlížet jako pokus o sémantické uchopení propozičních postojů. Postupně tak dochází k rozšiřování jazykových jevů, jejichž sémantiku lze ve formálních systémech úspěšně modelovat. Všechna tato pojetí však mají jedno

³ Mluvíme-li zde o funkci, míníme tím většinou funkci v běžném matematickém smyslu.

společné. Ve své podstatě nereflektují kontextovou zapojenost větných celků natolik dobře, aby mohla přiměřeně a kompozicionálně zachytit sémantické fungování anaforicky odkazujících zájmen.

Problematické zachycení anafory

Ve standardní predikátové logice prvního řádu bychom anaforicky odkazující zájmena přirozeného jazyka vyjádřili jako vázané proměnné. Podívejme se na následující příklad:

(a) Útočník střílí na bránu. Nedaří se mu.

Chceme-li zájmeno „ji“ v druhé větě anaforicky navázat na útočníka v první části, musíme vytvořit konjunktivní formuli vázanou existenčním kvantifikátorem:

(a-PL) $\exists x ((\text{útočník}(x) \wedge \text{střílí-na-bránu}(x) \wedge \text{nedaří-se}(x))$

Takový přepis ovšem není ideální. První věta z příkladu (a), kterou lze v jazyce predikátové logiky vyjádřit jako „ $\exists x ((\text{útočník}(x) \wedge \text{střílí-na-bránu}(x))$ “, totiž není podformulí formule (a-1), a formule (a-1) tudíž nevyhovuje principu kompozicionality. Totéž platí i o větě druhé, která obsahuje anaforicky odkazující zájmeno „mu“. Pokud bychom příklad (a) chtěli ve standardní predikátové logice zachytit kompozicionálně, museli bychom ji v jazyce této logiky vyjádřit následující formulí: $\exists x (\text{útočník}(x) \wedge \text{střílí-na-bránu}(x)) \wedge \text{nedaří-se}(x)$. Taková formule ovšem v predikátové logice neodráží význam příkladu (a) korektním způsobem, protože proměnná x není v dosahu existenčního kvantifikátoru. Zdá se tedy, že standardní predikátová logika nemá dostatečné prostředky na to, aby anaforické odkazování zájmen mezi větami zachytila kompozicionálně.

Nyní se podívejme na anaforické odkazování zájmen uvnitř věty:

(b) Pokud se brankář dostane k míči, chytne jej.

(c) Každý brankář, který se dostane k míči, jej chytne.

Po překladu těchto vět do standardní predikátové logiky získáme formuli s univerzálními kvantifikátory:

(bc-PL) $\forall x \forall y (((\text{brankář}(x) \wedge \text{míč}(y) \wedge \text{dostat-se-k}(x,y)) \rightarrow \text{chytnout}(x,y))$

Takový překlad ovšem ani v jednom případě nespĺňuje princip kompozicionality. Chceme-li věty (b) a (c) vyjádřit v jazyce standardní predikátové logiky kompozicionálně, musíme se opět uchýlit k formulím, které význam příkladů (b) a (c) v této logice nevyjadřují přiměřeně, neboť proměnné se stejně jako u zájmen odkazujících napříč větami dostávají mimo dosah kvantifikátorů, přičemž překlady jednotlivých vět se liší:

(b-PL) $\exists x ((\text{brankář}(x) \wedge \exists y (\text{míč}(y) \wedge \text{dostat-se-k}(x,y)) \rightarrow \text{chytnout}(x,y))$

(c-PL) $\forall x ((\text{brankář}(x) \wedge \exists y (\text{míč}(y) \wedge \text{dostat-se-k}(x,y)) \rightarrow \text{chytnout}(x,y))$

Ukazuje se, že přiměřené sémantické modelování anaforicky odkazujících zájmen je v rámci standardní predikátové logiky značně obtížné, ne-li zcela nemožné. Na následujících stránkách si představíme několik odlišných způsobů zachycení anafory, a ukážeme si tak dynamický obrat ve formální sémantice.

Sémantika změn záznamů

Koncem sedmdesátých a počátkem osmdesátých let minulého století se objevilo několik přístupů, které se pokusily fungování anaforických zájmen teoreticky zachytit. Podívejme se nejprve ve stručnosti na přístup lingvistky Irene Heimové, která vypracovala tzv. sémantiku změn záznamů (angl. file change semantics).

V základě jejího pojetí leží představa lístkové kartotéky, ve které se zaznamená každá informace, která se objeví v určitém diskurzu, tj. textu, dialogu apod. Pokud se v daném diskurzu objeví něco, o čem lze potenciálně něco vypovědět, tj. odkázat k tomu někdy v budoucnu, je zavedena zvláštní karta s diskurzním zástupným „symbolem“ pro příslušný objekt, a na tuto kartu se následně zanášejí všechny relevantní informace, jež jsou v daném diskurzu o příslušném objektu vypovídány. Uvažujme například věty:

„Krtek hledá mrkev. Má ji rád.“

Nejprve musíme vytvořit kartotéční lístek pro podstatné jméno „krtek“:

| |
|-------------|
| x1 |
| x1 je krtek |

Poté musíme vytvořit lístek pro „mrkev“, získáváme následující kartotéku:

| |
|-------------|
| x1 |
| x1 je krtek |

| |
|-------------|
| x2 |
| x2 je mrkev |

Nyní na oba lístky zapíšeme informaci, že krtek hledá mrkev:

| |
|-------------|
| x1 |
| x1 je krtek |
| x1 hledá x2 |

| |
|------------------|
| x2 |
| x2 je mrkev |
| x2 je hledána x1 |

Následně musíme zapsat informace z druhé věty. Zájmeno „ji“ interpretujeme jako x2 a nevyjádřený podmět druhé věty jako x1, informace z druhé věty opět přepíšeme na oba lístky:

| |
|-------------|
| x1 |
| x1 je krtek |
| x1 hledá x2 |
| x1 rád x2 |

| |
|------------------|
| x2 |
| x2 je mrkev |
| x2 je hledána x1 |
| x2 oblíbeno x1 |

Každá nová výpověď v diskurzu tedy potenciálně může vést k aktualizaci lístkové kartotéky, která sama o sobě představuje souhrn informací, které jsou k dispozici anaforicky odkazujícím zájmenům, jež se v diskurzu vyskytnou. Na tomto přístupu lze ilustrovat základní podstatu dynamického obratu. Heimová již nepojednává o izolovaných větách, ale dává význam věty do souvislosti s tím, jakým způsobem

věta mění informace obsažené v „informační kartotéce“, která obsahuje informace dostupné v daném kontextu. Předpokládá, že každé tvrzení vstupuje do určitého kontextu, který může určitým způsobem spoluvytvářet, rozšiřovat či pozměňovat, a tento potenciál klade do souvislosti s vlastním významem dané věty. Na významu se samozřejmě podílejí i mnohé nejazykové faktory, jako jsou gesta, výrazy tváře atd., od kterých ovšem Heimová i ostatní autoři v rámci svých jazykově a formálně zaměřených teorií záměrně odhlíží. V osmdesátých letech se zcela nezávisle objevuje teorie reprezentace diskurzu Hanse Kampa, která se přístupem Heimové v mnohém podobá.

Teorie reprezentace diskurzu

Kamp se zaměřuje na sémantickou reprezentaci diskurzu, primární sémantickou jednotkou pro něj není věta, ale diskurz, který si můžeme představit jako nějaký text, promluvu či posloupnost vět. Sémantickou interpretaci podle něj nepředstavuje přímé propojení výrazu a modelu (reality), předpokládá střední sémantickou úroveň, která nese informace obsažené v určitém diskurzu.

Svým pojetím se snaží překlenout propast mezi takovým lingvistickým pojetím významu, které jazykové struktury klade do souvislosti s jejich mentálním protějškem, a formální (logickou) sémantikou, která jazykové struktury vyjadřuje pomocí teorie modelů.

Kamp převádí syntaktické struktury na tzv. struktury reprezentace diskurzu (angl. discourse representation structures – dále DRS). Konstrukci takové struktury si ukážeme na následující větě:

(d) Milan nemá rád kolegyni, která mu hází klíče.

Prvním triviálním krokem konstrukce DRS je uzavření věty do samostatného rámce:

| |
|---|
| Milan nemá rád kolegyni, která mu hází klíče. |
|---|

Uzavřenou větu poté budeme postupně strukturovat. V dalším kroku se v ní objeví proměnná x , která poslouží jako referenční (diskurzivní) značka pro podmět věty. Dále

dojde ke ztotožnění této proměnné s podmětem „Milan“, který bude ve větě příslušnou proměnnou nahrazen. Získáme tak následující konstrukci:

| |
|---|
| x |
| Milan = x |
| x nemá rád kolegyni, která mu hází klíče. |

V dalším kroku se dostaneme ještě dále:

| | |
|-----------------|---|
| x | y |
| Milan = x | |
| x nemá rád y | |
| kolegyně (y) | |
| y mu hází klíče | |

Jak je patrné, v naší konstrukci přibyla další referenční (diskurzivní) značka *y*, která zastupuje neurčitou jmennou frázi *kolegyně*. Referenční značky nám tedy poslouží nejen pro vlastní jména, ale i pro neurčité jmenné fráze, navíc představují potenciální referenty anaforických zájmen, která se v diskurzu objeví později. Dále zde přibyla formule „kolegyně (*y*)“ a celý postup se promítá do vedlejší věty, v níž je vztažné zájmeno „která“ nahrazeno referenční značkou *y*. Pokud bychom chtěli získat strukturu reprezentace diskurzu (DRS) pouze pro hlavní větu „Milan nemá rád kolegyni.“, stačilo by z naší konstrukce pouze vymazat poslední řádek „*y* mu hází klíče“ a byli bychom hotovi. Chceme však získat strukturní reprezentaci diskurzu, který tvoří celá věta (d), musíme se tedy ještě nějak vypořádat se

zájmenem „mu“. Řešením je substituovat toto zájmeno vhodnou referenční značkou a jako vhodný kandidát se nabízí referenční značka x , která zastupuje maskuliní subjekt. Vhodných kandidátů by ovšem mohlo existovat i více a v takovém případě by přicházelo v úvahu více koncových struktur reprezentace diskurzu. V našem případě je však výsledek jednoznačný a získáváme následující strukturu reprezentace diskurzu:

| | |
|--------------------|-----|
| x | y |
| Milan = x | |
| x nemá rád y | |
| kolegyně (y) | |
| y hází klíče x | |

Výsledná strukturní reprezentace diskurzu obsahuje pouze dva typy objektů: množinu referenčních značek (x , y) a množinu formulí (Milan = x , x nemá rád y , kolegyně (y), y hází klíče x). Formule, které se ve strukturálních reprezentacích diskurzu objevují, Kamp nazývá *podmínky*. V našem příkladě jsou všechny podmínky atomickými formulemi, existují ovšem i podmínky složitější, jak si ještě ukážeme.

Podívejme se, co se stane, když do diskurzu přidáme další větu:

(e) Ona ho miluje.

Výsledná strukturní reprezentace se změní a bude vypadat následovně:

| | |
|----------------|---|
| x | y |
| Milan = x | |
| x nemá rád y | |
| kolegyně (y) | |
| y hází klíče x | |
| y miluje x | |

Tato struktura reprezentuje význam posloupnosti vět (d) a (e).

Kamp své struktury reprezentace diskurzu považuje za dílčí popisy skutečnosti. V případě obou výsledných struktur se jedná o model se dvěma individui, jejichž vlastnosti jsou popsány formulami obsaženými v těchto strukturách. Jednotlivé struktury reprezentace diskurzu můžeme za pravdivé považovat pouze ve vztahu k celkovému modelu skutečnosti M , a to tehdy, když příslušná strukturální reprezentace diskurzu tvoří součást celkového modelu M , tzn. když v rámci celkového modelu M existují instance individuí, které se v daných reprezentačních strukturách diskurzu vyskytují, a všechny relace mezi těmito instancemi jsou zachovány, tzn. všechny kempovské *podmínky* z příslušné struktury reprezentace diskurzu v modelu M platí.

Definujeme-li si model M jako uspořádanou dvojici $\langle D, I \rangle$, kde D je určitá nosná množina (skutečných) individuí a I standardní interpretační funkce, pak vlastní jména, obecná jména a slovesa vyskytující se v určité struktuře reprezentace diskurzu můžeme interpretovat podobně jako konstanty a predikáty v predikátové logice. Ověření pravdivosti struktury DRS v modelu M pak definujeme jako funkci g , která referenčním značkám z dané struktury DRS přiřadí prvky množiny D takovým způsobem, aby všechny podmínky z dané DRS byly v modelu M splněny.

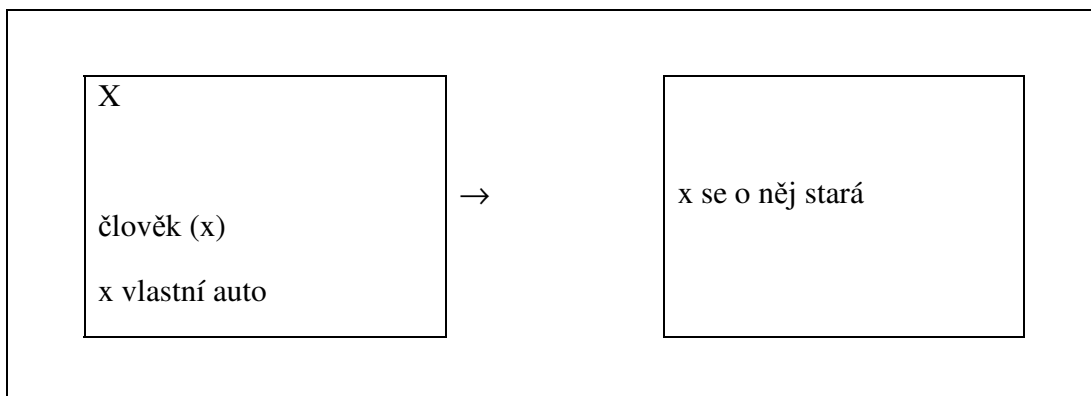
Struktura reprezentace diskurzu je pak pravdivá právě tehdy, když existuje alespoň jedna taková ověřovací funkce g .

Naše výsledná struktura reprezentace diskurzu je pak pravdivá právě tehdy, když existuje ověřovací funkce g , která referenčním značkám x a y přiřazuje taková individua nosné množiny D , že platí $g(x) = \text{Milan}$ a $g(y)$ je kolegyně, která Milanovi hází klíče, případně ho miluje. Pravdivostní podmínky naší výsledné struktury reprezentace diskurzu obohacené o větu (e) tak fungují stejně, jako kdybychom v predikátové logice vytvořili existenčně kvantifikovanou konjunkci vět (d) a (e). V Kampově pojetí ovšem žádný existenční kvantifikátor není potřeba, „existenční kvantifikaci“ zajišťují již pravdivostní podmínky struktury reprezentace diskurzu, které vyžadují existenci alespoň jedné funkce g , která ověřuje pravdivost příslušné struktury reprezentace diskurzu v rámci daného modelu.

Teorie reprezentace diskurzu se tedy tímto způsobem elegantně vypořádala s existenčním kvantifikátorem, jak si ale v rámci Kampovy teorie stojí kvantifikátor univerzální? Zkusíme si to ukázat na následující větě:

(f) Každý člověk, který vlastní auto, se o něj stará.

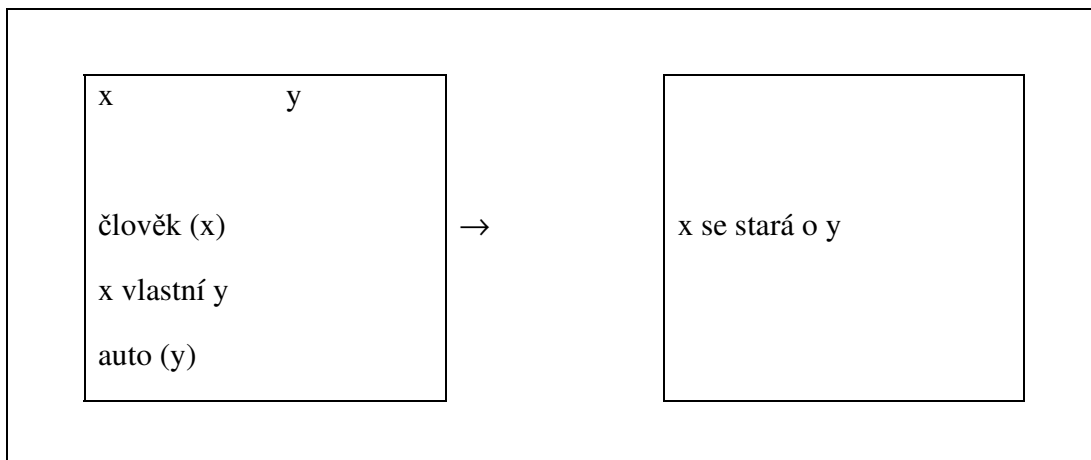
Chceme-li pro tuto větu vytvořit příslušnou strukturu reprezentace diskurzu, musíme ji opět nejprve umístit do vlastního rámce. Podmět této věty tvoří obecná jmenná fráze, pro kterou musíme vytvořit odpovídající strukturní reprezentaci v rámci teorie reprezentace diskurzu. Kamp k tomuto účelu zavádí novou implikační relaci \rightarrow mezi strukturami reprezentace diskurzu. V souladu s dříve představeným postupem konstrukce reprezentující diskurz nyní získáváme následující diskurzní strukturu:



Tato reprezentace obsahuje tři struktury reprezentace diskurzu. Opticky největší z nich je hlavní DRS, která původně obsahovala celou větu. Uvnitř vidíme dvě struktury reprezentace diskurzu, které společně tvoří složitou podmínku obsaženou v hlavní DRS. Obsažené struktury reprezentace diskurzu jsou spojené relací podřízenosti \rightarrow , a to tak, že struktura vpravo je podřízená struktuře vlevo. Levý rámeček obsahuje referenční značku x , pravý pak obsahuje formuli, která vznikla nahrazením obecné nominální fráze zavedenou značkou x . Formule v levém rámečku odpovídají obecnému jménu a příslušné vztahné větě a jsou zpracovány podle stejných pravidel jako v příkladu (d). Obě obsažené struktury reprezentace diskurzu ještě musíme podrobněji rozpracovat. Levý rámeček zahrnuje výraz „auto“, na který aplikujeme stejné pravidlo jako v případě konstruování příslušné DRS pro větu (d) a zavedeme další diskurzí značku y a současně formuli vyjadřující, že y je auto. Novou diskurzí značkou pak substituujeme výraz „auto“ v neúplně formuli „ x vlastní auto“.

Nyní nám zbývá vyřešit, co v pravém rámečku provedeme se zájmenem „něj“. Při konstrukci DRS pro větu (d) jsme měli pouze jeden rámeček a využili jsme pravidlo, které umožňuje substituovat zájmeno vhodnou diskurzí značkou. Toto pravidlo nyní rozšíříme na vztah podřízenosti \rightarrow jednotlivých struktur reprezentace diskurzu,

který jsme uvedli výše. Rozšířené pravidlo nám umožní substituovat zájmeno vhodnou referenční značkou, která se vyskytuje v některém z nadřazených rámců (nadřizenost je míněna ve smyslu zavedené relace \rightarrow). V našem případě se nabízí jediný nadřazený rámec, rámec vlevo, a jako jediná vhodná diskurzivní značka se nabízí y . Získáváme tak následující strukturu reprezentace diskurzu:



Jak vypadá interpretace složitějších struktur reprezentace diskurzu? Naše hlavní DRS neobsahuje žádné značky a pouze jedinou složitou podmínkou. Ověření pravdivosti, které jsme si definovali výše, v tomto případě vyžaduje, aby podmínka složená ze dvou DRS propojených implikačním znakem \rightarrow byla pravdivá. Každé ověření platnosti antecedentní (nadřazené) struktury reprezentace diskurzu musí splňovat i následnou (podřazenou) strukturu reprezentace diskurzu. Pro naši poslední strukturu reprezentace diskurzu to znamená, že každé přiřazení g , které referenční značce x přiřazuje nějakého člověka a referenční značce y nějaké auto, musí potvrdit, že daný člověk se o příslušné auto opravdu stará.

Kampova teorie reprezentace diskurzu tak umožňuje modelovat věty obsahující anaforická zájmena, aniž by musela použít existenční nebo obecný kvantifikátor. Nemusí tak řešit kvantifikační vázanost anaforicky referujících zájmen, která

v případě standardní predikátové logiky obnáší problémy demonstrované na příkladech (a) až (c). Přesunutím kvantifikace na jinou úroveň se Kampova teorie těmto problémům šikovným způsobem vyhýbá.

Informačních stavy

Heimová i Kamp přistupují k řešení problémů spjatých s anaforicky odkazujícími zájmeny primárně z lingvistických pozic. Mění přitom pohled na význam věty, který již nadále nepovažují za statický objekt, například za množinu možných světů jako v intenzionální sémantice, ale všímají si schopnosti vět vstupovat různým způsobem do diskurzu a interagovat s ním, a tuto ideu pak vtělují do svých teorií. Dynamický přístup se obecně odvrací od významu věty modelovaného pravdivostními podmínkami a všímá si způsobu, jakým věta může potenciálně změnit kontext. Takový náhled je překvapivě blízký programovacím jazykům. Často se objevuje paralela mezi během programu a interpretací jazykového diskurzu. Posloupnost vět v diskurzu lze přirovnat k posloupnosti příkazů imperativního programu. Kontext pronášeného tvrzení pak můžeme přirovnat ke vstupnímu stavu programu, tj. k přiřazení hodnot proměnným před vykonáním dalšího příkazu. Při vykonávání příkazu se může přiřazení hodnot proměnným změnit, a podobně i tvrzení může změnit kontext, do kterého vstupuje. Nové přiřazení hodnot proměnným, resp. nově vzniklý kontext, pak poslouží jako vstupní stav pro další instrukci programu, čili jako „vstupní“ kontext dalšího tvrzení.

Informační stav programu lze ztotožnit s přiřazení hodnot proměnným daného programu. Program můžeme interpretovat jako množinu uspořádaných dvojic přiřazení hodnot proměnným, tj. jako množinu uspořádaných dvojic informačních stavů, neboli množinu všech možných uspořádaných dvojic vstupních a výstupních stavů programu. Jsou-li funkce f a g dvě přiřazení hodnot proměnným, pak uspořádanou dvojici $\langle f, g \rangle$ nazveme *interpretací programu p* , jestliže po spuštění programu p s počátečním přiřazením f program skončí ve stavu, v němž hodnoty proměnných budou odpovídat přiřazení g . Vezmeme-li si například program, který

sestává z jediné instrukce „ $x := x + 1$ “, pak jeho výstupní stav g se od vstupního stavu f liší pouze tím, že hodnotě proměnné x přiřadí jejího následníka.

Uvažujeme-li sekvence po sobě spuštěných programů p_1 a p_2 , kde vstupním stavem programu p_1 je přiřazení hodnot f a výstupní stavem p_2 je přiřazení hodnot g , pak sekvence programů p_1 a p_2 povede od stavu f do stavu g , přičemž musí existovat takový stav h , který je výstupním stavem programu p_1 a vstupním stavem programu p_2 . Program p_2 se tedy spouští ve stavu, který spoluurčuje program p_1 .

Podle Groenendijka a Stokhofa lze některé aspekty významu popsat právě ve stavovém rámci a tuto ideu plodně využít k vybudování sémantiky přirozeného jazyka. Takový přístup vtěluje do své dynamické predikátové logiky, kterou si představíme v následující části.

Dynamická predikátová logika

Jeroen Groenendijk a Martin Stokhof se při budování dynamické predikátové logiky inspirovali pojmem informačního stavu a sémantiku jednotlivých výrazů definují v souladu s tímto přístupem. Své pojetí primárně zakládají na logickém přístupu k sémantice a využívají teorie modelů. Část výkladu proto věnujeme srovnání dynamické predikátové logiky (DPL) s klasickou predikátovou logikou prvního řádu (dále PL) a ukážeme, jak si dynamická predikátová logika poradí s problémy anaforického odkazování zájmen, které jsme načrtli v příkladech (a) až (c). Nejprve si uvedeme několik přípravných definic.

Syntax dynamické predikátové logiky bude shodná se syntaxí klasické predikátové logiky prvního řádu: Jazyk DPL i PL sestává ze symbolů pro n -ární predikáty (P, Q, R, \dots), konstanty (c_1, c_2, \dots), proměnné (x, y , popř. s indexy), logické spojky (negace \neg , konjunkce \wedge , disjunkce \vee , implikace \rightarrow), kvantifikátory (\forall, \exists), symbolu pro identitu ($=$) a pomocných symbolů (závorky).

Formulí se v DPL rozumí totéž co ve standardní predikátové logice:

Definice 1 (formule)

1. Jestliže t_1, \dots, t_n jsou konstanty či proměnné a P je n -ární predikát, pak $Pt_1\dots t_n$ je formule.
2. Jestliže t_1 a t_2 jsou konstanty či proměnné, pak $t_1 = t_2$ je formule.
3. Jestliže φ je formule, pak $\neg\varphi$ je formule.
4. Jestliže φ a ψ jsou formule, pak $(\varphi \wedge \psi)$, $(\varphi \vee \psi)$, $(\varphi \rightarrow \psi)$ jsou formule.
5. Jestliže φ je formule a x proměnná, pak $(\exists x \varphi)$ a $(\forall x \varphi)$ jsou formule.
6. Nic dalšího, kromě toho, co je uvedeno v bodech 1 – 5, není formule.

Budeme-li tedy hovořit o formuli, nemusíme explicitně uvádět, zda jde o formuli standardní predikátové logiky či DPL.

Sémantika PL a DPL je však odlišná. Stejně budou pouze základní pojmy.

Model M je uspořádaná dvojice $\langle D, F \rangle$, kde D je neprázdná množina individuí a F je funkce, jejímž definičním oborem je množina všech symbolů pro konstanty a predikáty. Je-li α symbol pro konstantu, pak $F(\alpha) \in D$. Je-li α n -ární predikátový symbol, pak $F(\alpha) \subseteq D^n$. F tedy každé konstantě přiřazuje nějaký prvek množiny individuí D a každému n -árnímu predikátu n -ární relaci nad D .

Valuace (ohodnocení) g je funkce, která každé proměnné přiřazuje individuum dané množiny D , tzn. $g(x) \in D$. Symbolem G budeme značit množinu všech valuací.

Dále necht' $[t]_g = g(t)$, je-li t proměnná, a $[t]_g = F(t)$, je-li t konstanta.

Zápis „ $k \langle x \rangle g$ “ znamená, že valuace k a g se liší nanejvýš v hodnotě, kterou přiřazují proměnné x .

Definice 2

(sémantika predikátové logiky – interpretační funkce $[]_M^{PL} \subseteq G$)

1. $[Pt_1 \dots t_n]_M^{PL} = \{g \mid \langle [t_1]_g, \dots, [t_n]_g \rangle \in F(P)\}$
2. $[t_1 = t_2]_M^{PL} = \{g \mid [t_1]_g = [t_2]_g\}$
3. $[\neg \varphi]_M^{PL} = \{g \mid g \notin [\varphi]_M^{PL}\}$
4. $[\varphi \wedge \psi]_M^{PL} = \{g \mid g \in [\varphi]_M^{PL} \text{ a } g \in [\psi]_M^{PL}\}$
5. $[\varphi \vee \psi]_M^{PL} = \{g \mid g \in [\varphi]_M^{PL} \text{ nebo } g \in [\psi]_M^{PL}\}$
6. $[\varphi \rightarrow \psi]_M^{PL} = \{g \mid \text{jestliže } g \in [\varphi]_M^{PL}, \text{ pak } g \in [\psi]_M^{PL}\}$
7. $[\exists x \varphi]_M^{PL} = \{g \mid \text{existuje valuace } k, \text{ pro kterou platí: } (k \langle x \rangle g \text{ a } k \in [\varphi]_M^{PL})\}$
8. $[\forall x \varphi]_M^{PL} = \{g \mid \text{pro každou valuaci } k \text{ platí: jestliže } k \langle x \rangle g, \text{ pak } k \in [\varphi]_M^{PL}\}$

V klasické predikátové logice (PL) lze formuli φ sémanticky interpretovat jako množinu těch ohodnocení, které formuli φ splňují. V dynamické predikátové logice budeme formule interpretovat jako množiny uspořádaných dvojic valuací. Vrátime-li se k analogii s programovacími jazyky, množiny uspořádaných dvojic valuací můžeme chápat jako dvojice vstupních a výstupních informační stavy. Uspořádaná dvojice $\langle f, g \rangle$ je interpretací formule φ právě tehdy, když platí, že pokud je φ je ohodnocena valuací f , ohodnocení g představuje možný výsledek valuačního procesu. Vzhledem k tomu, že funkce f a g přiřazují proměnným objekty, mohou se lišit pouze různým přiřazením objektů proměnným, tj. výstupní ohodnocení g může jedné či více proměnným přiřadit jiné objekty než vstupní ohodnocení f . Taková situace nastává při dynamické interpretaci existenčně kvantifikované formule. V sémantice PL je valuační f interpretací formule $\exists xPx$ právě tehdy, když existuje valuační g , která se od f liší nanejvýš v hodnotě, kterou přiřazuje proměnné x a současně náleží do interpretace formule Px , tj. přiřazuje proměnné x objekt $g(x)$ takový, že $g(x) \in F(P)$. Při dynamické interpretaci formule $\exists xPx$ uvažujeme všechny valuační g takové, že $g \langle x \rangle f$ a $g(x) \in F(P)$, přičemž tyto valuační jsou možnými interpretačními výstupy formule $\exists xPx$ při vstupu f . Významem formule $\exists xPx$ je potom následující množina uspořádaných dvojic valuací: $\{ \langle f, g \rangle \mid g \langle x \rangle f \text{ a } g(x) \in F(P) \}$ Tato množina ovšem nezachycuje význam každé existenčně kvantifikované formule $\exists x\varphi$. Může se totiž stát, že formule φ je také interpretována dynamicky. Dynamickou interpretací formule $\exists x\varphi$ proto obecně bude množina uspořádaných množin valuací $\langle f, g \rangle$ taková, že existuje valuační h , která se od f liší maximálně v hodnotě přiřazované proměnné x a spolu s valuační h tvoří uspořádanou dvojici $\langle h, g \rangle$ spadající do interpretace samotné formule φ . Interpretaci pro formuli $\exists x\varphi$ pak můžeme definovat následovně:

$$[\exists x\varphi]_M^{DPL} = \{\langle f, g \rangle \mid \text{existuje valuace } h \text{ taková, že: } h\langle x \rangle f \text{ a } \langle h, g \rangle \in [\varphi]_M^{DPL}\}$$

Tato interpretace je v souladu s předchozí dynamickou definicí významu formule $\exists xPx$, což si ukážeme později. Nejprve si definujeme interpretaci atomických formulí, které na rozdíl od existenčně kvantifikovaných formulí v podstatě nemají dynamický význam. Spíše je lze chápat jako testy, zda vstupní valuace splňuje podmínky reprezentované danou formulí. V kladném případě se vstupní valuace stává i valuací výstupní, v záporném případě je valuace zamítnuta jako nepřijatelná. Dynamika interpretace atomických formulí tak spočívá spíše v tom, že nechá projít všechny valuace, které určitou formulí splňují, a vyloučí všechny ostatní. Formálně to vyjadřují následující zápis:

$$[Pt_1 \dots t_n]_M^{DPL} = \{\langle f, g \rangle \mid f = g \text{ a } \langle [t_1]_f, \dots, [t_n]_f \rangle \in F(P)\}$$

Nyní již snadno ověříme, že definované interpretace formulí $\exists x\varphi$ a $\exists xPx$ si vzájemně neodporují. Interpretujeme-li formuli $\exists xPx$ pomocí interpretační funkce pro formuli $\exists x\varphi$ a atomickou formuli Px , dostaneme:

$$\begin{aligned} [\exists xPx]_M^{DPL} &= \{\langle f, g \rangle \mid \text{existuje valuace } h \text{ taková, že: } h\langle x \rangle f \text{ a } \langle h, g \rangle \in [Px]_M^{DPL}\} = \\ &= \{\langle f, g \rangle \mid \text{existuje valuace } h \text{ taková, že } h\langle x \rangle f \text{ a } h=g \text{ a } g(x) \in F(P)\} = \\ &= \{\langle f, g \rangle \mid g\langle x \rangle f \text{ a } g(x) \in F(P)\} \end{aligned}$$

Získáváme tedy dříve uvedenou interpretaci pro existenčně kvantifikovanou atomickou formuli Px . Význam formule $\exists xPx$ vyjadřuje, že pro vstupní ohodnocení proměnných f získáme možné výstupní valuace g , které se od f liší nejvýše

v hodnotě přiřazené proměnné x a které splňují podmínku, že individuum $g(x)$ má vlastnost P .

Na příkladu (a) jsme si ukázali, že standardní predikátová logika nemá dostatečné prostředky ke kompozicionálnímu zachycení anaforicky odkazujících zájmen. Ukázali jsme si, že pokud bychom chtěli příklad (a) modelovat v rámci standardní predikátové logiky kompozicionálním způsobem, museli bychom proměnnou vymanit z vlivu kvantifikátoru, abychom získali kompozicionálně interpretovanou formuli $\exists x (\text{útočník}(x) \wedge \text{střelí-na-bránu}(x)) \wedge \text{nedaří-se}(x)$, která již ovšem ve standardní predikátové logice nezachycuje význam příkladu (a) korektním způsobem. Podívejme se, jak bychom takovou formuli interpretovali v dynamické predikátové logice. Pro zjednodušení výkladu postačí, budeme-li uvažovat o jednodušší formuli „ $\exists x (\text{útočník střelící na bránu}(x)) \wedge \text{nedaří-se}(x)$ “, kterou ještě můžeme zkrátit na „ $\exists x Px \wedge Qx$ “. Ukážeme si, že tato formule je v rámci dynamické predikátové logiky interpretována kompozicionálním způsobem, a DPL tudíž poskytuje přiměřené kompozicionální zachycení anaforického vztahu z příkladu (a). Pro požadovanou interpretaci nám ovšem nepostačí dynamická interpretace existenčního kvantifikátoru, musíme ještě dynamicky interpretovat konjunkci.

Groenendijk a Stokhof od dynamicky interpretované konjunkce požadují, aby první člen konjunkce předal přiřazení hodnot proměnným i členu následujícímu. Hodnoty přiřazené proměnným v konjunkci navíc zůstávají k dispozici pro případné další členy konjunkce, které mohou přibýt později. Vraťme se k příkladům (d) a (e), na kterých jsme demonstrovali Kampovy struktury reprezentace diskurzu. Navážeme-li na větu „Milan nemá rád kolegyni, která mu hází klíče.“ větou „Ona ho miluje.“, můžeme celou situaci chápat jako přidání dalšího členu konjunkce. Nový člen může obsahovat volné výskyty proměnných (anaforicky odkazujících zájmen), které by ovšem měly spadat do dosahu existenčního kvantifikátoru, jež se vyskytl dříve.

Groenendijk a Stokhof proto dynamickou konjunkci definují následovně:

$$[\varphi \wedge \psi]_M^{DPL} = \{ \langle g, h \rangle \mid \exists \text{ valuaace } k \text{ taková, že } (\langle g, k \rangle \in [\varphi]_M^{DPL} \text{ a } \langle k, h \rangle \in [\psi]_M^{DPL}) \}$$

Podle této definice může interpretace formule $\varphi \wedge \psi$ se vstupem g vést k výstupnímu ohodnocení h právě tehdy, když existuje nějaká valuaace k taková, že interpretace formule φ se vstupem g může vést k výstupnímu ohodnocení k a interpretace formule ψ se vstupem k může vést k výstupní valuaaci h .

Existenční kvantifikace a konjunkce představují asi nejzajímavější případy dynamické interpretace, úplná definice sémantiky dynamické predikátové logiky vypadá takto:

Definice 3

(sémantika dynamické predikátové logiky – interpretační funkce $[]_M^{DPL} \subseteq G \times G$)

1. $[Pt_1 \dots t_n]_M^{DPL} = \{ \langle g, g \rangle \mid \langle [t_1]_g, \dots, [t_n]_g \rangle \in F(P) \}$
2. $[t_1 = t_2]_M^{DPL} = \{ \langle g, g \rangle \mid [t_1]_g = [t_2]_g \}$
3. $[\neg \varphi]_M^{DPL} = \{ \langle g, g \rangle \mid \text{neexistuje valuaace } k \text{ taková, že } \langle g, k \rangle \in [\varphi]_M^{DPL} \}$
4. $[\varphi \wedge \psi]_M^{DPL} = \{ \langle g, h \rangle \mid \exists k (\langle g, k \rangle \in [\varphi]_M^{DPL} \text{ a } \langle k, h \rangle \in [\psi]_M^{DPL}) \}$
5. $[\varphi \vee \psi]_M^{DPL} = \{ \langle g, g \rangle \mid \exists k (\langle g, k \rangle \in [\varphi]_M^{DPL} \text{ nebo } \langle g, k \rangle \in [\psi]_M^{DPL}) \}$
6. $[\varphi \rightarrow \psi]_M^{DPL} = \{ \langle g, g \rangle \mid \forall k (\text{jestliže } \langle g, k \rangle \in [\varphi]_M^{DPL}, \text{ pak } \exists j (\langle k, j \rangle \in [\psi]_M^{DPL})) \}$
7. $[\exists x \varphi]_M^{DPL} = \{ \langle g, h \rangle \mid \text{existuje valuaace } k \text{ taková, že: } k(x)_g \text{ a } \langle k, h \rangle \in [\varphi]_M^{DPL} \}$
8. $[\forall x \varphi]_M^{DPL} = \{ \langle g, g \rangle \mid \text{pro každou valuaaci } k \text{ platí: jestliže } k(x)_g, \text{ pak } \exists j (\langle k, j \rangle \in [\varphi]_M^{DPL}) \}$

Nyní již máme veškeré nástroje pro kompozicionální řešení příkladů (a) až (c), na kterých jsme si ukázali, že standardní predikátová logika nemá vhodné prostředky

k zachycení anaforicky referujících zájmen. V dynamické predikátové logice Groenendijka a Stokhofa můžeme formuli „ $\exists xPx \wedge Qx$ “ interpretovat následovně:

$$\begin{aligned}
 [\exists xPx \wedge Qx]_M^{DPL} &= \\
 &= \{ \langle g, h \rangle \mid \text{existuje valuace } k \text{ taková, že: } \langle g, k \rangle \in [\exists xPx]_M^{DPL} \text{ a } \langle k, h \rangle \in [Qx]_M^{DPL} \} = \\
 &= \{ \langle g, h \rangle \mid \text{existuje valuace } k \text{ taková, že: } k \langle x \rangle g \text{ a } k(x) \in F(P) \text{ a } h=k \text{ a } h(x) \in F(Q) \} = \\
 &= \{ \langle g, h \rangle \mid h \langle x \rangle g \text{ a } h(x) \in F(P) \text{ a } h(x) \in F(Q) \}
 \end{aligned}$$

Tato interpretace formule „ $\exists xPx \wedge Qx$ “ ukazuje některé zajímavé důsledky „dynamizace“ predikátové logiky provedené Groenendijkem a Stokhofem. Jednak je zřejmé, že oproti standardní predikátové logice v DPL záleží na pořadí členů v konjunkci, což je dáno „vstupně-výstupní“ interpretací členů konjunkce. Dále se ukazuje, že existenční kvantifikátor může určitým způsobem vázat i proměnné, které neváže syntakticky. Ve formuli „ $\exists xPx \wedge Qx$ “ se výstupní valuace formule „ $\exists xPx$ “ v souladu se sémantickou definicí konjunkce přenáší i na formuli Qx , která je ve skutečnosti mimo dosah existenčního kvantifikátoru. V dynamické logice Groenendijka a Stokhofa mají proto formule „ $\exists xPx \wedge Qx$ “ a „ $\exists x (Px \wedge Qx)$ “ stejný význam. Tato vlastnost umožňuje přeložit a interpretovat věty z příkladů (a) až (c) v rámci dynamické predikátové logiky kompozicionálním způsobem, dokonce můžeme přidat i další věty, jako v příkladech (d) a (e). Ve všech těchto případech DPL překonává standardní predikátovou logiku a poskytuje vhodný aparát ke kompozicionálnímu zachycení anaforicky odkazujících zájmen.

Závěr

Dynamický obrat v sémantice je nezdárcíka motivován problémy, které souvisejí s anaforicky referujícími zájmeny. Představili jsme si několik teorií, které se pokoušejí fungování anaforických zájmen přiměřeně teoreticky zachytit, přičemž jsme jako hlavní metodologické pojítka využili princip kompozicionality. Nedostatečné prostředky klasických systémů řeší každý z uvedených přístupů zcela svébytným způsobem. Kamp se prostřednictvím konstrukcí reprezentace diskurzu šikovně zbavuje kvantifikátorů, Groenendijk a Stokhof zase ve své dynamické predikátové logice sémanticky rozšiřují vázanost kvantifikovaných proměnných až za hranice stanovené syntaktickými pravidly.

Bez ohledu na specifická řešení jednotlivých autorů se všechna uvedená pojetí obvykle řadí do paradigmatu dynamické sémantiky, které se začalo výrazně prosazovat zejména v devadesátých letech dvacátého století. Ať už je z tohoto hlediska pro Kampa charakteristické propojení významů vět s jejich „příspěvkem“ k přebudování diskurzu a pro Groenendijka a Stokhofa zase náhled věty jako jakési informační aktualizace, celkově je zřejmý ústup od statického náhledu větného významu k pojetí, které zohledňuje a tematizuje aktivní a spoluutvářející roli vět v diskurzu, textu či promluvě. Uvedená pojetí se samozřejmě neomezují pouze na anaforické jevy, můžeme je považovat za takové rozšíření předchozích sémantických teorií, které dosti zásadním způsobem proměňuje zejména náhled významu větných celků.

Seznam použité literatury

- Čermák, F.: Jazyk a jazykověda, Univerzita Karlova v Praze, Nakladatelství Karolinum, Praha, 2001
- Frege, G.: *Über Sinn und Bedeutung*, Zeitschrift für Philosophie und philosophische Kritik 100, 1892, str. 25-50, český překlad Jiřího Fialy: *O smyslu a významu*“, Scientia & Philosophia, 1992
- Groenendijk, J. a Stokhof, M.: *Dynamic Predicate Logic*, University of Amsterdam, Amsterdam, 1989
- Gamut, L.T.F.: *Discourse Representation Theory*, In: Logic, Language and Meaning, University of Chicago Press, Chicago, 1991, svazek 2, kapitola 7.4, str. 264-297
- Kamp, H.: *A Theory of Truth and Semantic Representation*, In: Truth, Interpretation and Information, ed. Groenendijk, J., Janssen, T.M.V., Stokhof, M., Foris Publications, Dordrecht / Cinnaminson, 1984, str. 1-41
- Muskens, R., Benthem, J. van, Visser, A.: *Dynamics*, In: Handbook of Logic and Language, ed. Benthem, J. van, Meulen A. ter, Elsevier / MIT Press, Oxford / Cambridge, 1997, str. 587-648
- Peregrin, J.: *Dynamická sémantika a dynamická logika*, In: Organon F, č. 4, 1996, str. 333-348
- Peregrin, J.: *Úvod do teoretické sémantiky*, Praha, 1998
- Stokhof, M.: 'Could Semantics Be Something Else? Philosophical Challenges for Formal Semantics', In: J. Gerbrandy, M. Marx, M. de Rijke & Y. Venema (ed.),

*JFAK 50. Essays Presented to Johan van Benthem on the Occasion of his
Fiftieth Birthday*, Amsterdam, Amsterdam University Press, 1999

Stokhof, M. a Groenendijk, J.: Changing the Context. Dynamic Semantics and
Discourse, In: E. Doron a S. Wintner (ed.), *IATL 3: Proceedings of the 11th
Annual Conference and of the Workshop on Discourse*, Jerusalem, Israel
Association for Theoretical Linguistics, 1996, str.104-128

