

Významy ako mentálne simulácie v situačnom modeli*

Igor Farkaš

Centrum kognitívnej vedy, KAI FMFI, Univerzita Komenského
Mlynská dolina, 84248 Bratislava
farkas et mph.uniba.sk

Abstrakt

Pretrvávajúcou filozofickou dilemou v kognitívnej vede je ako vznikajú významy, napr. i v kontexte používania jazyka. Oproti klasickým symbolovým prístupom, ktoré čelia problému ukotvenia symbolov, a ktoré využívajú propozičné reprezentácie, stoja prístupy podporené výsledkami psychologických experimentov, smerujúce k tzv. vtelenej situovanej kognícii. V týchto prístupoch sa významy chápu ako výsledok mentálnej simulácie situácie, ktorá zahŕňa perceptuálne, motorické, sociálne a afektívne skúsenosti agenta. Reprezentácie významu sa takto stávajú modálnymi, na rozdiel od amodálnych reprezentácií významov v tradičných symbolových systémoch. V príspevku sa zameriavam na nové konekcionistické modely s dôrazom na tie, ktoré využívajú situačný prístup.

1 Úvod

Napriek tomu, že sémantika (štúdium významov) bola už súčasťou agendy gréckych filozofov staroveku, aj v súčasnosti je pretrvávajúcou dilemou v kognitívnej vede. Čo to znamená rozumieť niečomu? Ako vzniká porozumenie u človeka? Môže stroj rozumieť príkazom? Otázka významov (komprehenzie) získala na dôležitosť v polovici minulého storočia, keď schopnosť porozumieť sa stala testovacou mierou prejavu inteligentného správania. Podľa známeho Turingovho testu (1950) môžeme stroj považovať za inteligentný, ak nedokážeme rozlíšiť jeho odpovede od odpovedí človeka pri komunikácii cez textový terminál. Neskoršia, známa kritika tohto operacionalizovaného testu strojovej inteligencie a vznikla na základe myšlienkového experimentu čínskej izby (Searle, 1980), ktorý poukazuje na to, že iba na základe pozorovania správania systému (v tomto prípade komunikácie) nemôžeme zistiť, či stroj *naozaj* rozumie, čo hovorí, lebo iba manipuluje symboly podľa nejakých pravidiel v programe. Searlov problém čínskej izby inšpiroval Harnada (1990) k formulácii problému *ukotvenia symbolov*, ktorého cieľom je zistiť, ako vo formálnom systéme dosiahnuť, aby ten nadobúdal významy (vlastné reprezentácie okolitého sveta), ktoré sú

jemu vlastné a nie sú závislé od interpretácie (dizajnérom systému). Prepojenie interných reprezentácií s okolitým svetom má dve zložky: individuálnu, ktorá sa týka objektov okolitého sveta (problém fyzikálneho ukotvenia symbolov) a sociálnu, ktorá figuruje v procese vytvárania zdieľaných významov, obyčajne prostredníctvom jazyka (externé ukotvenie symbolov).

V spektre rôznych teórií významov (pozri napr. prehľad v Takáč, 2007) možno dať do kontrastu tie, podľa ktorých významy objektívne existujú vo svete (realistická sémantika) s tými, podľa ktorých významy vznikajú v našich myšliach (kognitívna sémantika), na základe našej interakcie so svetom a ostatnými jedincami. Tieto vnútorné významy nemajú nič spoločné s hypotetickým jazykom mysle (tzv. mentálčinou; Fodor, 1975), ktorý je symbolovým systémom konzistentným s realistickou sémantikou.¹ Túto dichotómiu v teóriách významov možno pozorovať i v umelej inteligencii, kde tradičné navrhované systémy využívajú rôzne vnútorné reprezentácie, ktoré im boli zvonka nadizajnované. V kontraste s nimi stoja systémy („novej“ umelej inteligencie) budované pomocou konštruktivistického prístupu (Pfeifer a Scheier, 2001), v ktorom významy vznikajú v dôsledku interakcie s prostredím (Takáč, 2008).

2 Ukotvenosť ľudskej kognície

Pri hľadaní vhodného prístupu k modelovaniu významov sa môžeme inšpirovať empirickými poznatkami o ľudskej kognícii, ak máme zámer budovať biologicky prijateľný kognitívny model.

2.1 Tradičné teórie kognície

Tradičné teórie kognície predpokladajú, že znalosť o svete sídli v sémantickej pamäti, ktorá existuje nezávisle od modálnych systémov v mozgu: od perцепčných systémov (napr. vizuálneho, sluchového), od motorického systému (pohyb, propriocepčia) a od introspekcie (mentálne stavy, afekt). Podľa týchto teórií,

* Podporené grantom VEGA 1/0361/08.

¹ Podľa tejto teórie porozumieť vete v nejakom jazyku znamená preložiť ju do mentálčiny.

reprezentácie v modálnych systémoch sa konvertujú (prostredníctvom transdukcie) na amodálne symboly, ktoré reprezentujú znalosť o svete v sémantickej pamäti. Táto úroveň reprezentácie sa využíva v širokej škále kognitívnych procesov od percepcie až po usudzovanie. Najvýznamnejšou v tejto línii je hypotéza o fyzikálnom symbolovom systéme, podľa ktorej takýto systém úplne postačuje ako vysvetlenie povahy ľudskej kognície (Newell a Simon, 1976). Symbolový systém je založený na formálnych princípoch sémantiky pravdivostných hodnôt (Pylyshyn, 1984), ktoré nemôžu garantovať korešpondenciu symbolovej úrovne s vonkajším svetom: ide o známy problém rámca, ktorý vzniká najmä v meniacom sa prostredí (McCarthy a Hayes, 1969). Na druhej strane, výhodou takýchto systémov je ich využiteľnosť pri budovaní rôznych ontológií, napr. pre sémantický web alebo znalostné systémy, ktoré môžu slúžiť ako užitočné informačné nástroje pre človeka, ktorý výstupy systému dokáže interpretovať (pričom nás nezaujímajú otázky, či systém rozumie tomu, čo robí).

2.2 Teórie ukotvenej kognície

Ako protipól k amodálnym teóriám kognície stoja teórie tzv. ukotvenej kognície (Barsalou, 2008). Tieto sa vnútorne členia podľa toho, na aký aspekt ukotvenia sa orientujú. Niektoré teórie kladú dôraz na vplyv tela pri kognícii (tzv. vtelená kognícia) ako nevyhnutnej podmienky pre fungovanie agenta v reálnom svete (Lakoff a Johnson, 1980; Smith a Gasser, 2005; Pecher a Zwaan, 2005). Iné teórie ukotvenia zase poukazujú na dôležitosť situovania človeka (situovaná kognícia) a jeho interakciu s prostredím (sociálny aspekt; napr. Barsalou a spol., 2003; Glenberg, 1997). V rámci tejto perspektívy sa kognitívny systém naučí reprezentovať významy objektov či akcií v procese interakcie s prostredím ako aj s inými jedincami. Aspekty vtelenia a situovania možno chápať oddelene, no oba sú nutné na ukotvenie významov. Potom môžeme hovoriť o vnútorných významoch, pretože reprezentačný systém významov je prepojený s vonkajším svetom.

Teórie ukotvenej kognície (ktoré niektorí nazývajú neoempirizmom; Machery, 2008) stoja na dvoch tézach:

- znalosť o konceptoch je uložená vo viacerých percepčných reprezentačných systémoch,
- konceptuálne spracovanie znamená reaktiváciu niektorých percepčných stavov a ich manipuláciu.

Tieto tézy znamenajú, že napríklad aj vnútorný hlas (rozmyšľanie) evokuje aktiváciu rôznych modalít, t.j. nemôže prebiehať v amodálnej rovine symbolov. Podobne je to pri spracovaní abstraktných symbolov, ktorým tiež priradíme perceptuálne reprezentovateľné charakteristiky.

3 Teórie porozumenia textu

Veľmi častým typom vstupu pre umelý systém spracovávajúci jazyk je textový vstup. Úlohou systému je tento text analyzovať a prípadne reagovať naň, napr. vhodnou odpoveďou (ako pri Turingovom teste). Samozrejme, dobré správanie systému si vyžaduje úroveň sémantickej analýzy textu. Lingvistická sémantika je špecifickým (jazykovým) prístupom k formalizácii významov (formálna sémantika), kde kľúčovú rolu hrajú propozície a ich (ne)platnosť v uvažovanom svete, ktorý má systém opisovať (na ktorý sa má vzťahovať). Pri analýze textu je problémom to, že samotná veta poskytuje len fragment lingvistického významu a že odpoveď na ňu si obyčajne vyžaduje znalosť o svete, a tá nemusí mať lingvistickú povahu (aj keď v bežných systémoch ju má, vyjadrenú nejakým formálnym jazykom). Napríklad, na otázku *Máte hodinky?* odpovieme udaním času a nie súhlasom, že ich máme. Správna odpoveď si vyžaduje pragmatickú analýzu, ktorá využíva znalosť o svete (v tomto prípade pochopenie zámeru pýtajúceho sa).

Podľa psychologickej teórie porozumenia textu rozlišujeme tri typy reprezentácií vytvárané pri čítaní. Na najnižšej úrovni je *povrchová reprezentácia*, ktorá pozostáva len zo samotných slov textu a ich (ne)ako vyjadrených) lexikálnych významov. Druhú úroveň predstavuje *propozičná reprezentácia* (textová báza), v ktorej je text reprezentovaný sieťou propozícií vyjadrujúcich vzťahy medzi jednotlivými konštituentami vo vete, čo je jazykovo viazaná úroveň. Na najvyššej úrovni v hierarchii je *situačná reprezentácia*, ktorá opisuje situáciu vyjadrenú vo vete, a ktorá svojou povahou už nie je lingvistickou úrovňou opisu. Základným predpokladom porozumenia textu sú teda významy jednotlivých slov, fráz, následne celých viet, čím vznikajú mentálne reprezentácie – situačné modely. Pojem „situačný model“ v kognitívnej psychológii a psycholingvistiky zaviedli van Dijk a Kintsch (1983). Podľa nich je situačný model mentálnou reprezentáciou situácie opísanej v texte. Situačné modely je potrebné odlíšiť od podobných pojmov ako skripty alebo rámce, známe zumelej inteligencie, v ktorých kde ide o propozície orientovanú reprezentáciu nejakého stereotypického procesu (návšteva reštaurácie) alebo priestorovej organizácie (vybavenia obývacej izby) (Schank a Abelson, 1977). Zrozumiteľný stručný prehľad modelov a teórií porozumenia jazyka na báze teórie situačných modelov uvádza Rakovský (2009).

4 Výpočtové modely spracovania viet

Akým spôsobom možno reprezentovať významy vo výpočtových modeloch spracovania jazyka? Podľa typu používaných reprezentácií, vlastností a mechanizmov

môžeme rozdeliť existujúce výpočtové modely spracovania viet jazyka do troch skupín: symbolové, štatistické a konekcionistické.

4.1 Symbolové modely

Jadro symbolových systémov tvorí symbolová gramatika, ktorá je vo svojej najjednoduchšej forme súborom (explicitných) prepisovacích pravidiel. Tento prístup vychádza z hypotézy Chomského (1986), že znalosť jazyka znamená znalosť gramatických pravidiel. Tie vyjadrujú vzťahy medzi abstraktnými symbolmi, a to neterminálmi, ktoré predstavujú rôzne kategórie, a terminálmi, čo sú konkrétne slová (ktoré v rámci systému tiež vystupujú ako symboly). Výhodou symbolových gramatík je ich *transparentnosť* – znamenajú to (pre dizajnéra či používateľa), na čo boli dizajnované. Explicitnosť gramatík je však súčasne aj ich slabou stránkou. Tak ako sa nám javí jazyk ako systém podliehajúci pravidlám, tak isto sme si vedomí množstva výnimiek, ktoré je nutné spracovať osobitne.² Okrem toho, problémom je aj existencia „šumu“ v bežnom jazyku (slovné prešmyčky, nedokonaná produkcia, atď.), voči ktorým je človek odolný, a ktorý je ťažké zohľadniť v rigidných symbolových modeloch (kompetencia verus performancia). Napriek tomu, takéto modely môžu mať zaujímavé správanie.

Pozoruhodným príkladom symbolového prístupu je systém SAPFO (Páleš, 1994). Tento program dostane na vstupe nejakú slovenskú vetu a k nej vyprodukuje parafrázy, t.j. iné vety, ktoré majú približne zhodný význam. Napríklad, vetu *Jano ide loďou do Indie* dokáže systém preformulovať ako *Jano ide do Indie na lodi* alebo *Jano ide loďou, ktorá ide do Indie*, a ďalšie. Autor modeloval všetky subsystémy slovenského jazyka (fonologický, morfológický, syntaktický a sémantický), ich kooperáciou dosiahol výsledné správanie programu. Kľúčová bola pomerne detailná charakterizácia sémantiky sloviac slovenčiny pomocou tzv. intencionálnych rámcov. Ku každej vete (t.j. povrchovej forme) systém priradil jej hĺbkovú (sémantickú) reprezentáciu, aby pomocou nej mohol vygenerovať parafrázy. Formálne manipulácie s reprezentáciami môžeme považovať za inteligentné správanie, ak toto bude merítkom spôsobu testovania verbálnej inteligencie u ľudí, t.j. schopnosť povedať niečo vlastnými slovami (Šefránek a spol., 2008). V kontexte argumentu čínskej izby (Searle, 1980) sa nám však takéto správanie nemusí javiť ako inteligentné, ak si uvedomíme, že systém len robí syntaktické operácie na symboloch, nerozumie tomu čo robí, aj keď narába so sémantickými reprezentáciami (tie však nie sú ukotvené).

² „All grammars leak.“ (E. Sapir).

4.2 Štatistické modely

V štatistických prístupoch (Manning a Schütze, 1999) je už väčší priestor na vysvetlenie (modelovanie) jazykových prejavov človeka. Tieto systémy tiež potrebujú explicitnú gramatiku, no vnášajú do nej stochastickosť, ktorá umožňuje podchytiť štatistické závislosti v jazyku a súčasne tým zjednodušiť gramatiku ako takú (ktorá by si inak vyžadovala veľa detailnejších pravidiel). Tieto modely sa budujú na základe veľkých jazykových korpusov a sympatickým prvkom je, že štatistiku (vrátane významov slov) sa systém naučí (aj keď, pravda, významy nie sú ukotvené). Takýto systém potom dokáže analyzovať (parsovať) jednotlivé vety a priradiť im syntaktické stromy podľa korpusovej pravdepodobnosti. Napríklad veta *Peter uvidel dievča s ďalekohľadom* má z lingvistického hľadiska dva rôzne významy, ktoré sú v systéme reprezentované dvoma syntaktickými stromami. V prvom prípade figuruje ďalekohľad ako Petrov nástroj (inštrument agensa), v druhom prípade ho drží dievča v ruke (modifikátor paciensa). Ako sme však spomínali v prvej časti článku, sémantika presahuje rámec vety, aj jazyka a je *kontextovo závislá*, t.j. pri zahrnutí znalosti o svete môže význam vety nadobúdať rôzne odtiene, ktoré sú z lingvistického hľadiska samotnou vetou nezachytiteľné.

4.3 Konekcionistické modely

Tieto modely sa opierajú o ľudskú kogníciu a hypotézu, že znalosť gramatiky nie je vrodená, preto zámerne nevyužívajú explicitnú gramatiku, ale snažia sa ju implicitne naučiť z príkladov viet. Dôležitou vlastnosťou týchto modelov je využitie distribuovaných reprezentácií, vďaka ktorým vykazujú kognitívne relevantné správanie v porovnaní s prejavom človeka. Na druhej strane, tieto reprezentácie vedú k nižšej transparentnosti týchto modelov; porozumenie fungovania modelu si vyžaduje analýzu vzniknutých vnútorných reprezentácií neurónovej siete. Ďalším problémom je tréningovanie modelov pri realistickejších korpusoch.³

V konekcionistických modeloch do istej miery tiež čelíme problému ukotvenia významov, ak tie nie sú vytvárané na základe interakcie s prostredím, aj keď používané reprezentácie môžu byť subsymbolové. Rohde (2002) navrhol integrovaný model komprehenzie a produkcie viet (CSCP). Vety (rôznej zložitosti) sú generované podľa gramatiky zjednodušeného anglického jazyka. Význam vety pozostáva z množiny propozícií, ktoré sú reprezentované distribuovane a sú explicitne prezentované sieti počas učenia. Jedna časť systému

³ Najčastejšie ide o známy problém gradientových metód pri učení s učiteľom, ktoré sa často používajú v týchto modeloch.

(sémantický systém) sa učí skomprimovať sekvenciu týchto propozícií do jednej, statickej reprezentácie významu celej vety. Model CSCP využíva ako moduly jednoduché rekurentné siete (Elman, 1990), ktoré sa naučia zobrazit' vstupnú vetu (sekvenciu slov) na jej celkový význam (komprehenzia) a opačne (produkcia). CSCP je schopný simulovať rôzne psychologické aspekty spracovania viet u človeka. Model poukazuje na dôležitosť prepojenia medzi komprehenziou a produkciou počas učenia jazyka. Diskutabilnou stránkou modelu je však práve tréovanie pomocou explicitných propozíčných reprezentácií, ktoré prebieha pomocou tzv. dotazovania (query) na jednotlivé konštituenty propozícií, čo je z kognitívneho hľadiska otázny mechanizmus (figurujúci aj v starších, jednoduchších modeloch komprehenzie viet, pozri napr. Farkaš, 2005).

Podobnú explicitnosť propozícií predpokladá aj flexibilnejší model INSOMNet (Mayberry, 2004), ktorý nevyžaduje fixné rámce propozícií ako CSCP. Tento model s modulárnou architektúrou bol navrhnutý ako interpretátor anglických viet, ktorý predloženej vete v textovej forme (slovo za slovom) priradí jej sémantickú reprezentáciu. Reprezentácie viet s tzv. plochou sémantikou (Copestake, 2005), použité na tréovanie výstupného modulu s externým učiteľom, boli vzaté z lingvisticky anotovaného korpusu, v ktorom sémantika každej vety má formálne podobu orientovaného grafu. Takýto graf vyjadruje syntaktické a sémantické vzťahy medzi vetnými členmi, reprezentovanými distribuovane. Reprezentácie viet založené na tejto lingvistickej konceptuálnej štruktúre majú dve zaujímavé vlastnosti: (1) vďaka grafovej štruktúre sa vyhýbajú problému reprezentovania syntaktických stromov s veľkou hĺbkou (typických pre prirodzený jazyk v kontexte symbolových a štatistických modelov), a (2) podobne ako symbolové programy tiež využívajú (užitočné) smerníky, no tie sú implementované tiež pomocou aktivácií viacerých neurónov a tie sa sieť musí naučiť ako súčasť reprezentácie vety. Model sa musí tiež naučiť gramatiku, pretože tá nie je explicitne daná (na rozdiel od SAPFO). INSOMNet je psychologicky prijateľný model, lebo (podobne ako človek) sa učí na príkladoch, generuje predikcie, nemonotónne reviduje interpretáciu vety pri jej inkrementálnej analýze, správa sa robustne, dokáže paralelne vytvárať viacsobné interpretácie v prípade nejednoznačných viet, a vie modelovať rôzne jazykové poruchy. Môžeme povedať, že systém „rozumie“ vetám? Ak za prejav porozumenia považujeme schopnosť zovšeobecňovať, správne reagovať na nové podnety, tak áno, pretože systém dokáže väčšine nových viet priradiť správnu sémantickú reprezentáciu.

Nie všetky konekcionistické modely využívajú propozíčné štruktúry. Naopak, opierajú sa o situačné reprezentácie na opis (reprezentáciu) významov viet,

v duchu hypotézy o situačných modeloch. Tieto situačné reprezentácie však nemajú lingvistický, a tým pádom ani propozíčný charakter. Ich spoločnou charakteristikou je, že tiež využívajú distribuované reprezentácie, no nie na reprezentovanie propozícií ale situácií.

5 Distribuované situačné modely

Na vytvorenie sémantických znalostí je potrebné vložiť do systému znalosť o svete, ktorá sa v počítačových modeloch porozumenia textu dá realizovať rôznymi spôsobmi (Frank a spol., 2008). Jedným z nich je napr. využitie textových korpusov, no tie neriešia problém ukotvenia symbolov. Zaujímavejším spôsobom je využitie dobre definovaného mikrosveta, v ktorom vieme dobre analyzovať znalosti extrahovateľné z množiny rôznych situácií, ktoré môžu v tom mikrosvete nastať.

5.1 Situačný model DSS

V modeli distribuovaného situačného priestoru (DSS, Frank, 2005; Frank a spol., 2003) na reprezentáciu významov slúžia práve tieto reprezentácie situácií. Úlohou modelu (neurónovej siete) je potom priradiť jednotlivým vetám (v textovej forme) opisujúcim danú situáciu (povrchová reprezentácia) ich distribuovaný (situačný) vektor, čo sa dá interpretovať ako pochopenie významu vety, pretože sieť vlastne predikuje danú situáciu (pričom preskakuje propozíčnú úroveň reprezentácie). Samozrejmovou požiadavkou je, aby sieť dokázala zovšeobecňovať, t.j. aby porozumela nielen novým vetám opisujúcim známe situácie, ale aj úplne novým situáciám. Napríklad, v DSS modeli existujú dve postavičky, ktoré môžu robiť rôzne činnosti na rôznych miestach (samostatne alebo spolu). Ak sa systém naučí porozumieť vetám *Janko hrá šach vnútri* a *Janko sa hrá na schovávačku vonku*, musí porozumieť aj vetám *Janko hrá šach vonku* a *Janko sa hrá na schovávačku vonku* (ak sú tieto situácie konzistentné s vlastnosťami mikrosveta). Táto schopnosť zovšeobecnovania vyjadruje vlastnosť tzv. sémantickej systematickosti (Fodor a Pylyshyn, 1988).

Znalosť o mikrosvete bola implementovaná pomocou množiny K situácií, ktoré boli konzistentné s obmedzeniami mikrosveta (napr. že pri hre na schovávačku musia byť dvaja). Opis každej situácie (j) má formu binárneho vektora $\mathbf{x}_j = [x_j(p), x_j(q), \dots]$ dimenzie n , ktorého komponenty predstavujú nezávislé elementárne udalosti p, q, \dots s významami ako napr. sviatky slnko, Janko je vonku, Marienka je unavená. Ak elementárna udalosť p figuruje v danej situácii j , tak $x_j(p) = 1$, inak $x_j(p) = 0$. Takáto reprezentácia má zaujímavé vlastnosti. Po prvé, frekvencia výskytov p v jednotlivých situáciách je apriórnu pravdepodobnosťou $\Pr(p)$ výskytu p v mikrosvete, ktorú počítame ako pomer počtu situácií

kde $x_j(p) = 1$ a všetkých situácií K . Po druhé, ľahko môžeme vypočítať reprezentáciu negácie elementárnych udalostí ako aj ich kombinácií (ak nastávajú súčasne):

$$\begin{aligned} x_j(\neg p) &= 1 - x_j(p) \\ x_j(p \wedge q) &= x_j(p) x_j(q) \end{aligned} \quad (1)$$

Pomocou týchto vzťahov potom vieme vypočítať aj disjunkciu dvoch udalostí:

$$x_j(p \vee q) = x_j(p) + x_j(q) - x_j(p) x_j(q)$$

Tieto vzťahy možno použiť na výpočet vektorovej reprezentácie ľubovoľnej kombinácie elementárnych udalostí, pretože bežná situácia sa dá vyjadriť ako konjunkcia nejakého počtu elementárnych udalostí. Takto môžeme počítať aj podmienenú pravdepodobnosť, že udalosť p nastáva v situácii q ,⁴ t.j.

$$\Pr(p|q) = \Pr(p \wedge q) / \Pr(q) = \sum_j x_j(p) x_j(q) / \sum_j x_j(q) \quad (2)$$

Na vytvorenie situačných reprezentácií bola v modeli DSS použitá samoorganizujúca sa mapa (SOM, Kohonen, 1995) – štandardný model neurónovej siete vhodný na klasterizáciu a vizualizáciu vysokorozmerných dát. Na natrénovanie SOM bola použitá množina K situácií, a výstupom SOM pre danú situáciu (vstup \mathbf{x}) boli hodnoty váhových vektorov \mathbf{w}_i , $i = 1, 2, \dots, N$, kde komponent $w_i(p) \in [0, 1]$ indikuje, do akej miery sa i -ty neurón podieľa na reprezentácii udalosti p . Po naučení SOM využívame na reprezentáciu udalosti p namiesto $\mathbf{x}(p) = [x_1(p), x_2(p), \dots, x_K(p)]$ vektor $\mathbf{w}(p) = [w_1(p), w_2(p), \dots, w_N(p)]$. V prípade $N < K$ dostávame distribuované reprezentácie situácií so zníženou dimenziou, pričom voľba počtu neurónov N nezávisí od K . Vektory \mathbf{w} nazývame *situačnými vektormi*, pretože reprezentujú situácie v mikrosвете. Frank a spol. (2003) ukázali, že vektory \mathbf{w} majú rovnaké vlastnosti ako vektory \mathbf{x} v tom zmysle, že ľubovoľná situácia v mikrosвете sa dá reprezentovať kombináciou elementárnych udalostí, a že pravdepodobnosti situácií vyplývajú priamo z týchto reprezentácií. Je zrejmé, že redukcia dimenzie znamená stratu časti informácie, a preto hovoríme o *presvedčení* (belief), že nastáva p za podmienky q . Na výpočet presvedčenia $b(p|q)$ použijeme tie isté vzťahy, len x nahradíme pomocou w a index j v rovnici 2 prebehne od 1 po N a nie 1 po K . $b(p|q)$ je preto aproximáciou $\Pr(p|q)$. Presvedčenia sa využívajú v modeli porozumenia viet, v ktorom rekurentná Elmanova sieť sa učí predikovať pre jednotlivé vety ich situačné vektory, ktoré máme už k dispozícii. Elmanova sieť má počet vstupov rovný počtu slov v mikroязыku a má N výstupných neurónov. Z výstupu siete sa snažíme pomocou presvedčení vydedukovať, akú situáciu sieť predpovedá. Frank (2005)

⁴ Symbolmi p , q môžeme označovať elementárne udalosti, ale tak isto aj situácie.

navrhol aj mieru komprehenzie, ktorá kvantifikuje, do akej miery sieť porozumela danej vete po jej „prečítaní.“

Situačné vektory v modeli DSS majú pekné vlastnosti, sú subsymbolové (forma vektora a jeho význam sú neoddeliteľné) a teda analógové, čím sú konzistentné s perceptuálnymi symbolmi (Barsalou, 1999). Tieto situačné vektory však nie sú modálne, a preto ani ukotvené. Elementárnymi jednotkami týchto vektorov sú elementárne udalosti, či už týkajúce sa jednotlivých postáv, alebo stavu počasia, atď. V týchto vektoroch neexistujú koncepty ani vzťahy medzi nimi (čo je zase na druhej strane typickou vlastnosťou propozíčných vektorov). Model DSS od tohto abstrahuje, no ťažko si predstaviť situačnú reprezentáciu opisujúcu situáciu, kde nefigurujú tieto koncepty.

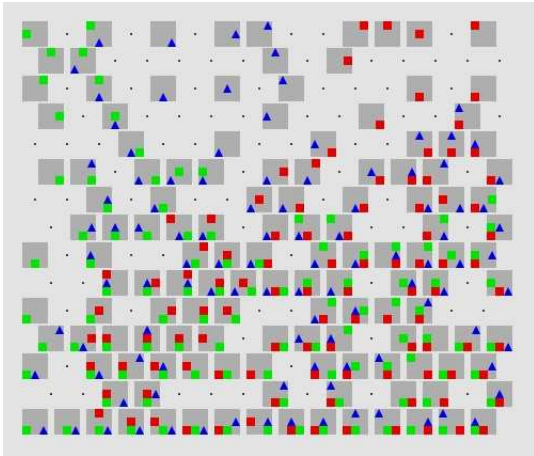
5.2 Ukotvený situačný model s objektami

V snahe ukotviť situačné vektory bol aplikovaný model DSS v inom mikrosвете (Jankovič, 2008), ktorý obsahuje tri rôzne objekty (dva štvorce a trojuholník) rozmiestnené na mriežke veľkosti 3×3 . Poloha objektov nie je ľubovoľná, ale spĺňa vopred definované obmedzenia (napr. minimálne jeden a maximálne tri objekty na scéne, objekt musí byť na zemi, ak nie je držaný ramenom pomysleného robota, a pod.). Situačná reprezentácia vzniká na základe rozmiestnenia objektov na scéne a nie verbálneho opisu scény. Nie je teda závislá od propozíčnej štruktúry textu, čo je jeden zo základných predpokladov dobrého situačného modelu. Úloha rekurentnej neurónovej siete (trénovanej pomocou logaritmu BPTT) je taká istá ako v modeli DSS: priradiť každej testovanej vete význam opísanej situácie. Príkladom takej vety *red block is in-middle bottom and triangle is above red block*. Sieť sa naučila správne porozumieť novým vetám aj niektorým novým situáciám, aj keď jej nie úplne spoľahlivo. Najčastejšie chyby prameniace z rekonštrukcie výstupu siete sa týkali susedných pozícií objektov (sieť sa pomýlila o jednu pozíciu v horizontálnom alebo vo vertikálnom smere).⁵

Odlíšnosť v porovnaní s modelom DSS tu spočíva v opise situácie. Tá zachytáva pozíciu (horizontálnu a vertikálnu) informáciu o jednotlivých objektoch a mala tvar $\mathbf{x} = [X_{H-red}, X_{V-red}, X_{H-green}, X_{V-green}, X_{H-triangle}, X_{V-triangle}]$, pričom každá z týchto zložiek bola 4-rozmerná. Napr. ak bol červený štvorec vľavo dole, odpovedajúce zložky mali tvar $X_{H-red} = [1100]$ a $X_{V-red} = [0011]$. Pozdĺž každej súradnice malo kódovanie pozícií tvar $[1100]$, $[0110]$ a $[0011]$, čím sa zabezpečila topografickosť (susedné pozície majú podobné reprezentácie). Takto dostávame

⁵ Tu treba povedať, že mapovanie viet na situačné významy je aj v prípade takéhoto jednoduchého modelu pomerne zložité, pretože tú istú situáciu možno opísať odlišnými spôsobmi.

dimenziu vstupného priestoru rovnú 24. Vektory opisujúce situácie sú preto perceptuálne ukotvené, pričom jednotlivé štvorce komponentov vektora sa priamo vzťahujú na jednotlivé objekty na scéne (ak sú všetky nulové objekt tam nie je). Týmto táto reprezentácia abstrahuje od toho, že v mozgu sú pozície objektov (systém „kde“) a ich rozpoznávanie (systém „čo“) spracovávané v rozdielnych častiach kôry (Ungerleider a Mishkin, 1982). Tu sú spojené.



Obrázok 1. Príklad natrénovanej SOM s vyznačením preferencie neurónov na jednotlivé situácie. Topografické usporiadanie priestoru situácií je zrejmé.

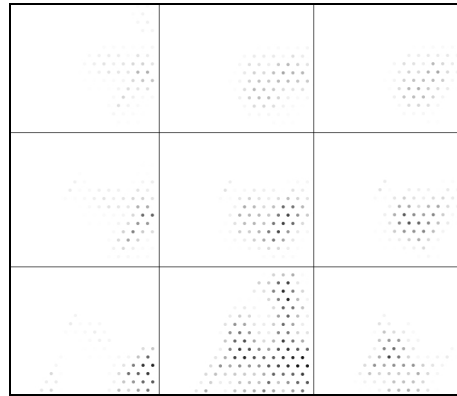
Príklad natrénovanej SOM je na obrázku 1. Je vidieť, že (perceptuálne) podobné situácie sa mapujú na susedné neuróny v mape. Zo situačných vektorov možno taktiež extrahovať presvedčenia siete o platnosti jednotlivých udalostí, podobne ako v predchádzajúcom mikrosвете. Na obrázku 2 sú príklady situačných reprezentácií odpovedajúce situáciám s dvoma objektmi, pričom červený štvorec je nemenný (v strede dole) a zelený štvorec nadobúda všetky ostatné možné pozície. Medzi jednotlivými pozíciami je vidieť podobnosti v ich reprezentáciách. Je tiež vidieť, že sieť priradila viac aktivity situácii, v ktorej figuruje len samotný červený štvorec (v strede dole), a to preto, že tieto menej špecifické situácie majú väčšiu frekvenciu výskytu. Situačné reprezentácie sú i v tomto prípade distribuované. Pri takomto kódovaní situácií neplatí predpoklad (na rozdiel od Frankovho modelu), že jednotlivé elementárne udalosti sú nezávislé, pretože kódovanie každej súradnice objektu si vyžaduje dva komponenty.⁶ Napriek tomu, pravidlá fuzzy logiky sa tu dajú použiť, a výhodným sa

⁶ V prípade lokalistického kódovania pozície by to tak nebolo, no stratili by sme informáciu o perceptuálnej podobnosti susedných pozícií.

ukázal byť alternatívny výpočet disjunkcie udalostí, a to podľa vzťahu

$$w_j(p \wedge q) = \min \{w_j(p), w_j(q)\}$$

pretože $w_j(p) \in [0,1]$. Dôvodom pre alternatívny výpočet je to, že situácia s troma objektmi obsahuje až 12 jednotkových komponentov, čo by pri násobení čísel z tohto intervalu viedlo k veľmi nízkym hodnotám (a teda k takmer nemožným situáciám).



Obrázok 2. Príklady situačných reprezentácií (výstupných aktivít SOM) pre situácie, v ktorých červený štvorec je vždy dole uprostred a zelený štvorec nadobúda ostatné pozície, pričom jeho pozícia odpovedá samotnému umiestneniu podobrázku.

6 Záver

V príspevku sme urobili malý prehľad výpočtových prístupov k modelovaniu porozumeniu viet jazyka. V rámci nich sme sa najviac venovali konekcionistickým modelom, pretože tie dávajú podľa môjho názoru najlepšiu možnosť na modelovanie tohto fenoménu psychologicky prijateľným spôsobom. Teória ukotvenej kognície nie je všeobecne uznávaná (pozri napr. Machery, 2008), a nemá ambíciu vytlačiť klasické teórie kognície, čo zdôrazňuje sám Barsalou (2008), aj keď je podporená rastúcim množstvom empirických výsledkov. V rámci konekcionizmu sú v súčasnosti dominantnými modely s propozičnými reprezentáciami, ako napr. CSCP a INSOMnet, a to vďaka ich psychologickej prijateľnosti a pozoruhodnému rozsahu, pretože sú budované na pomerne zložitých lingvistických dátach. V porovnaní s nimi sú spomínané distribuované situačné modely len hračkárske modely, pretože vytváranie reprezentácií zložitejších situácií (viac objektov, zložitejšie vzťahy) v modeli DSS nie je jednoduché. Aj preto si situačné modely vyžadujú ďalší výskum. Potenciálnou možnosťou tu je ich prepojenie s propozičnými modelmi s cieľom využiť výhody oboch prístupov.

Literatúra

- Barsalou L. (1999). Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 577-609.
- Barsalou L. (2008). Grounded cognition. *Annual Reviews of Psychology*, 59, 617-645.
- Barsalou L., Niedenthal P., Barbey A., Ruppert J. (2003). Social embodiment. In Ross B. (ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*, 43, 43-92. San Diego, CA: Academic.
- Chomsky N. (1986). *Knowledge of Language*. New York: Prager.
- Copestake A., Flickinger D., Pollard C., Sag I. (2005). Minimal recursion semantics: An introduction. *Research on Language and Computation*, 3(4), 281-332.
- Elman J. (1990). Finding structure in time. *Cognitive Science*, 14, 179-211.
- Farkaš I. (2005). Konekcionistické modelovanie jazyka. Kapitola v knihe: Rybár J., Kvasnička V., Farkaš I. (zost.), *Jazyk a kognícia*. Kalligram, Bratislava, 262-305.
- Fodor J. (1975). *The Language of Thought*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Fodor J., Pylyshyn Z. (1988). Connectionism and cognitive architecture: a critical analysis. *Cognition*, 28, 3-71.
- Frank S., Koppen M., Noordman L., Vonk W. (2003). Modeling knowledge-based inferences in story comprehension. *Cognitive Science*, 27, 875-910.
- Frank S. (2005). Sentence comprehension as the construction of a situational representation: A connectionist model. *Proceedings of AMKLC'05, Espoo, Finland*, 27-33.
- Frank S., Koppen M., Noordman L., Vonk W. (2008). World knowledge in discourse-comprehension models. *Discourse Processes*, 45, 429-463.
- Glenberg A. (1997). What memory is for. *Behavioral and Brain Sciences*, 20, 1-55.
- Harnad S. (1990): The symbol grounding problem. *Physica D*, 42, 335-346.
- Jankovič P. (2008). Konekcionistický prístup k porozumeniu textu na báze situačného priestoru mikrosвета. *Diplomová práca*. FMFI UK.
- Kohonen T. (1995). *Self-Organizing Maps*. Berlin: Springer Verlag.
- Lakoff G., Johnson M. (1980). *Metaphors We Live By*. Chicago: University Chicago Press.
- Machery E. (2008). Two dogmas of neo-empiricism. *Philosophy Compass*, 1/4, 398-412.
- Manning C., Schütze H. (1999). *Foundations of Statistical Natural Language Processing*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Mayberry M. (2004). Incremental nonmonotonic parsing through semantic self-organization. *Doctoral thesis*. Department of Computer Sciences, University of Texas at Austin.
- McCarthy J., Hayes P. (1969). Some philosophical problems from the standpoint of artificial intelligence. *Machine Intelligence*, 4, 463-502.
- Newell A., Simon H. (1976). Computer science as empirical inquiry: Symbols and search. *Commun. ACM*, 19(3), 113-126.
- Páleš E. (1994). *SAPFO. Parafrázovač slovenčiny. Počítačový nástroj na modelovanie v jazykovede*. Veda, vydavateľstvo SAV, Bratislava.
- Pecher D., Zwaan R. (Eds.) (2005). *Grounding Cognition: The Role of Perception and Action in Memory, Language, and Thinking*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Pfeifer R., Scheier C., (1999). *Understanding Intelligence*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Pylyshyn Z. (1984). *Computation and Cognition: Towards a Foundation for Cognitive Science*. MIT Press.
- Rakovský M. (2009). Situačné modely v porozumení jazyka. *Diplomová práca*. FMFI UK.
- Rohde D. (2002). A connectionist model of sentence comprehension and production. *Doctoral thesis*. Carnegie Mellon University, Pittsburg.
- Schank R., Abelson R. (1977). *Scripts, Plans, Goals, and Understanding: An Inquiry Into Human Knowledge Structures*. Lawrence Erlbaum.
- Searle J. (1980). Minds, brains, and programs. *Behavioral and Brain Sciences* 3, 417-424.
- Smith L., Gasser M. (2005). The development of embodied cognition: six lessons from babies. *Artificial Life*, 11, 13-30.
- Šefránek J., Takáč M., Farkaš I. (2008). Vznik inteligencie v umelých systémoch. V knihe Magdolen D. (zost.), *Hmota, život, inteligencia: Vznik*. Veda, vydavateľstvo SAV, Bratislava, 245-270.
- Takáč M. (2007). Construction of meanings in living and artificial agents. *Dizertačná práca*. FMFI UK.
- Takáč M. (2008). Autonomous construction of ecologically and socially relevant semantics. *Cognitive Systems Research*, 9, 293-311.
- Turing A. (1950/1992): Počítacie stroje a inteligencia. V knihe: Gál, E., Kelemen, J. (zost.): *Mysel', telo, stroj*. Bradlo, Bratislava.
- Ungerleider L., Mishkin M. (1982). Two cortical visual systems. In Ingle D. et al., *Analysis of visual behavior*. Cambridge, MA: MIT Press, 549-586.
- van Dijk T., Kintsch W. (1983). *Strategies in Discourse Comprehension*. Academic, New York.
- Zwaan R., Radvansky, G. (1998). Situation models in language comprehension and memory. *Psychological Bulletin*, 123, 162-185.