

Model ukotvení prostorových vztahů

Michal Vavrečka

Katedra psychologie, Fakulta sociálních studií Masarykovy univerzity, Joštova 10, 602 00 Brno
vavrecka@fss.muni.cz

Abstrakt

Současné trendy v oblasti ukotvování symbolů pomocí sensorických modalit se ukazují jako přínosné, ale narážejí na omezení, plynoucí z ukotvování na základě asociace symboly s perceptuálními kategoriemi bez hlubší analýzy problému. Článek se zabývá analyzováním některých východisek formální sémantiky a následně přehledem výzkumů ukotvení s poukazem na jejich slabá místa. Obsahuje také popis a analýzu navrženého systému, který zajišťuje grounding již v úrovni vnímání prostoru za použití samoorganizujících se map. Oproti předchozím přístupům (Regier, 1996; Riga, Cangelosi a Greco 2004) je odlišně provedená reprezentace auditivní informace. Základní návrh systémů umožňuje vznik rozšířené verze, která by měla být schopná elementární formy kompozicionality a produktivity s využitím možnosti grounding transferu.

1 Úvod

Až do 20. století byly teorie tvorby znalostí z velké části perceptuální. Poté ale došlo k rozvoji logiky, statistiky a programovacích jazyků, ke vzniku amodálních teorií, které jsou postavené na jiných než perceptuálních základech. (Barsalou, 1999) Čímž došlo také k posunu definice sémantiky. Jelikož tento posun znamenal některá omezení, které v kognitivní vědě působí obtíže, je nutné se danou problematikou zabývat se zvýšenou pozorností. Z teoretického hlediska je jazyk postaven na nelingvistických kořenech. Pokusy o uchopení sémantiky bez těchto kořenů jsou zásadně omezena (Roy, 2005a). Jazyk i obraz jsou do určité fáze zpracovávány odlišným způsobem. Způsoby jejich prvotní reprezentace musí zohledňovat způsob, kterým tyto informace přijímáme. Naši touhou je vytvořit systém, ve kterém se tyto kódy prolínají, fungují synergicky a dokáží doplnit slabosti předchozího systému. Je třeba najít mechanismus překladu mezi nimi. V psychologii se zabýval vhodným způsobem reprezentace už A. Paivio (1976??). Otázky, které však stále potřebujeme zodpovědět, abychom mohli pokročit k integraci reprezentací do společného rámce jsou následující

Které jsou základní rozdíly reprezentací obrazu a jazyka?
Ve kterých oblastech je jeden efektivnější než druhý?

Které operace s jejich reprezentacemi nelze uskutečnit? ..
Jakým způsobem můžeme integrovat reprezentace z odlišných subsystémů?

Současné reprezentační schémata vidí lingvistické a perceptuální reprezentace jako oddělené systémy, které pracují na jiných principech. Po vytvoření perceptuálního stavu dochází k jeho transdukcii do symbolického, amodálního systému, kódu který je zcela neperceptuální. (Barsalou, 1999). Po tomto převodu jsou symboly používány v reprezentačních systémech založených na seznamech, rámcích, schématech, sémantických sítích či produkčních systémech. Tím je konstituován plně funkční symbolický systém s kombinatorickou syntaxí a sémantikou, který podporuje vyšší kognitivní funkce, jako jazyk, paměť, znalosti. Takto to vidí autoři jako Newell a Simon (1972), Fodor (1975), Pylyshyn (1984) apod. Pokud bychom však chtěli pracovat se symboly bez jejich propojení s perceptuální rovinou, vznikají problémy, protože používáme pouze velmi redukovanou sémantiku. Sémantika formálního systému je značně problematická, jelikož vychází z teorie korespondence, podle které výrazy jazyka referují k objektům v externím světě. Vztah je však pouze jednosměrný. Změny v externím světě znamenají změny v popisu (symbolické abstrakci). Významy mají svou kauzální příčinnost v externím světě. Logikové od tohoto faktu, počínaje Fregem, abstrahují a zajišťují korespondenci symbolické roviny s externím prostředím pomocí pravdivostní hodnoty, která je také součástí symbolické roviny a s empirickou rovinou je propojena pouze pomocí externího, sémanticky znalého pozorovatele (nejčastěji logika).

V Tarského pracích se objevuje kritika koncepce pravdivostní hodnoty přímo v jazyce, který jí potřebuje jako svou sémantiku. Postuluje metajazyk, ve kterém je možno tuto pravdivost vyjádřit. Metajazyk ale znamená pouze krok stranou, protože je opět pouhou abstraktní arbitrární symbolickou rovinou a neumožní rekonstruktivním procesem dospět k vlastnostem a souvztažnostem mezi objekty, který by nám umožnil pravdivostní hodnotu odvodit přímo.

Tarského metajazyk je založen na T-schématech, které tvoří propojení jazyka a metajazyka. Metajazyk je v podstatě aktuální stav věcí ve světě a mohli bychom jej tedy zaměnit se sémantikou založenou na perceptuálním

ukotvení. V Tarského pojetí se ale o ukotvení v perceptuální úrovni nehovoří. Není totiž v možnostech žádného jazyka či metajazyka být schopen vyjádřit aktuální stav věcí ve světě. Takový způsob sémantiky je neefektivní a prakticky neuskutečnitelný. Navíc takto definovaná sémantika platí pouze pro formální jazyky, protože přirozený jazyk je příliš komplexní a obsahuje příliš mnoho výjimek z pravidel.

Rozšíření na přirozený jazyk provedl Davidson, který chápe pravdivost jako primitivum, než jako definovaný koncept. Jím postulovaná pravdivost je ale tautologická, protože přisuzuje význam větě její pravdivostní hodnotě. Kromě toho, že používá jako atom příliš komplexní strukturu (větu), jejíž pravdivostní hodnota je kompozicí části, ale neodhaluje nám nic o významu jednotlivých slov.

V logice je tomu podobně. Tarski definoval formální sémantiku na základě pravidel vyvozování. Chybí však významy samotných logických operátorů, které do systému vstupují apriorně. Základy sémantiky jsou atomické sentence. Taková teorie významu však opět obsahuje kruhovou definici, protože postuluje pravdivostní hodnotu jako přiřazení.

Jak bylo zmíněno výše, je hlavním nedostatkem formální logiky a sémantiky jejich základ v korespondenční teorii pravdy. V okamžiku, kdy se změní externí svět (v úrovni změny prostředí), musí to reflektovat i symbolická rovina, aby byla pravdivostní hodnota zachována. To by ale znamenalo schopnost formálního systému reflektovat změny v doméně, do které nemá žádný přístup, protože je jejím abstraktním a arbitrárním popisem. Kdybychom se snažili vytvořit systém transformace z roviny perceptů na symbolickou úroveň, narazili bychom na zásadní problémy. Právě arbitrárnost formálního systému nám znemožňuje provést transformaci perceptu do úrovně kategorie, jelikož je při převodu nutné zohlednit tvar a prostor, což je pro symboly jako reprezentační primitiva, neobsahující žádný apriorní skrytý předpoklad, příliš náročné a v případě realizace velmi neefektivní úkol. I pokud bychom použili místo korespondenční, epistémickou teorii pravdivosti, která je založena na verifikaci symbolických výrazů v rovině empirie, opět nejsme tento proces schopni zajistit pouze pomocí formálního systému. Verifikaci musí provést externí pozorovatel, který je obeznán se světem na subsymbolické úrovni a který je schopen reflektovat změny na nearbitrární úrovni založené na znalosti prostoru a tvaru a paralelnosti přijímaných informací, která je pro symbolický systém nemožná.

Ukazuje se, že důležitými aspekty pro zjednání korespondence mezi externím prostředím a agentovými reprezentacemi patří schopnost učení se a také schopnost abstrahovat a následně kategorizovat z prostředí informace na úrovni tvaru a prostoru, což je pro

symbolický systém velmi obtížně řešitelný úkol. Architekturovou, která dokáže výše zmíněné požadavky plně uspokojit jsou neuronové sítě. Na druhou stranu je nutné zdůraznit, že bude třeba nalézt takové způsoby tvorby neuronových sítí, které využívají potenciál symbolických systémů, zobecnitelný do pojmů systematickosti a kompozicionality. V rovině sémantiky nám však symbolické systémy nemohou mnoho nabídnout. Proto je třeba vytvořit způsoby reprezentace, které dokáží perceptuální vlastnosti původních objektů zachytit a reprezentovat z ohledem na jejich časové a prostorovost a zajistit tak ověřitelnost jejich významu. Jedním z přístupů je postulace perceptuálních symbolů a simulátorů, které dokáží produkovat ukotvené, multimodální reprezentace (Barsalou, 1999). Přístup je však postulován pouze v teoretické rovině a jeho finální realizace je při současných možnostech velmi obtížná. Proto mu zde nevěnuji mnoho prostoru. Soustředím se spíše na elementárnější modely groundingu které jsou schopné produkovat perceptuálně ukotvené reprezentace.

2 Ukotvení symbolů

Pokud chceme vyřešit problém korespondenční teorie pravdivosti, musíme nalézt způsob propojení mezi prostředím a reprezentacemi (ve formě kategorií či konceptů). Reprezentace, které přímo reflektují (reprezentují) strukturu či změny prostředí poté transformujeme do symbolické roviny, která manipuluje s reprezentacemi s ohledem na jejich význam, který je dán způsobem jejich tvorby. Jedním z řešení je postulace procesu mediace (zjednávání) perceptuálních reprezentací (např. Harnad, 1987; Höffding, 1891; Neisser, 1967). Každý amodální symbol je asociován s odpovídajícím perceptuálním stavem v dlouhodobé paměti. (Barsalou, 1999). Způsob transformace se obecně nazývá ukotvením symbolů a podrobněji se v něm zabývám v předchozím článku (Vavrečka, 2006).

Samotná kategoriální percepce či percepce kategorií byla prokázána u zvířat (Zentall, 1986) i lidí (Goldstone, 1994). U umělých systémů je tvorba podobného procesu stále velmi komplikovaná. Používají se hybridní i čistě konekcionistické přístupy. V současnosti se takové systémy vtělují do robotů. (Cangelosi, 2006) Jestliže Harnad (1990) definoval grounding jako proces diskriminace a identifikace předmětu, tedy jeho kategorizace a následné symbolické označení, jsou současné požadavky na proces ukotvení větší. Například Roy defínuje grounding jako kauzálně-prediktivní cyklus, pomocí kterého agent ovládá soubor věr o okolním světě. Proces groundingu vyžaduje kauzální i prediktivní vztah mezi vírou a referentem. Cyklický proces následně zajišťuje interpretačně kontrolní smyčku, implementovanou do agenta. (Roy, 2005a). Pouhé

ukotvení na základě kauzality není možné. Ukotvení také vyžaduje predikci budoucnosti s ohledem na agentovy současné akce. Požadavek prediktivní reprezentace je odklonem od čistě kauzálních teorií. Například v roce 1990 Harnad navrhuje kauzální řešení postavené na kategoriální percepci senzoričky ukotvených signálů. Pokud ale nepoužijeme predikci dostáváme se k problému zvanému "homunkulární". (Roy, 2005a). Ač je Royův požadavek logický a opodstatněný, je jeho současná realizace za hranicemi možností. Ukotvení symbolů ještě nedosáhlo ani úrovně reprezentace kauzálních vztahů a proto se problematikou predikce nebudeme hlouběji zabývat.

Podíváme-li se na ukotvení symbolů coby badatelskou oblast, zjistíme že výzkumná činnost dosáhla rozměrů, při kterém dochází k rozdělení problematiky na více částí. V současnosti dochází ke zkoumání způsobu asociace symbolů na perceptu (jejich kategorie) v kontextu jednotlivého agenta - fyzický symbol grounding, a také způsobu interakce agentů, která je předem ukotvená a na jejichž základě mohou agenti mezi sebou sdílet významy - sociální symbol grounding.

V případě fyzického symbol groundingu se nejedná o Brooksův termín (1993), ale o proces ukotvení založený na derivaci kategorií z prostředí jedincem. Fyzický symbol grounding vychází z Harnadova ukotvení externí entity \leftrightarrow interní reprezentace \leftrightarrow symboly. Propojení by dle Roye (2005a) mělo být obousměrné.

Sociální symbol grounding je definován jako interindividuální vyjednávání o výběru sdílených symbolů (slov) a jejich ukotvených významů. Zabývá se vývojem sdíleného slovníku ukotvených symbolů v populaci kognitivních agentů. (Cangelosi, 2006). Z hlediska evoluce se jedná o emergenci jazyka od prelingvistické formy tzn. bez explicitních symbolických a komunikačních významů. Z hlediska ontogeneze se jedná o proces akvizice jazyka a kultury. V ranné fázi se jedná o imitaci okolí, která vede ke konstrukci lingvistické znalosti. SSG může fungovat také na základě dočasných interakčních her mezi individui.

Zmíněným tématem se zabývalo mnoho badatelů, např. Steels (????) v modelu "Talking Heads". Další experimenty zkoumaly oba typy sociálního groundingu - ontogenetický i evoluční (Cangelosi 2001; Cangelosi & Harnad 2000; Munroe & Cangelosi 2003).

Ve svém příspěvku se zabývám více fyzickým symbolickým groundingem a proto zde nebude věnovat prostor rozborům současným modelům sociálního ukotvení symbolů. Daleko podrobněji se u nás této problematice věnuje M. Takáč (např. Takáč, 2006). Z oblasti fyzického groundingu bych chtěl představit několik současným modelů, přičemž se budu zabývat rozbohem pouze těch, které mají blízko k mému vlastnímu návrhu.

3 Modely fyzického ukotvení

Současní badatelé přistupují k problematice ukotvení velmi odlišnými technikami. Výčet modelů groundingu je již v současné době velmi rozsáhlý. Autoři se zabývají reprezentací jednotlivých objektů, reprezentací rozlehlých prostor (Kuipers,????), sloves (Siskind, ????) Při návrhu vlastního modelu jsem se nechal inspirovat následujícími pracemi.

Důležitým aspektem při tvorbě systému je volba vhodné architektury. Např. Worgan (2006) se snaží pomocí systému tvořeného umělých uchem a hlasivkami a vybaveného dvěma samoorganizujícími se mapami pro recepci a produkci řeči vytvořit systém, který na základě náhodného mapování, které se během učení reorganizuje, vytvořit systém, schopný přijímat i produkovat řeč.

Použití samoorganizace je v procesu ukotvení velmi efektivní, protože nám umožňuje zachování strukturální topologie vstupu pomocí učení bez učitele.

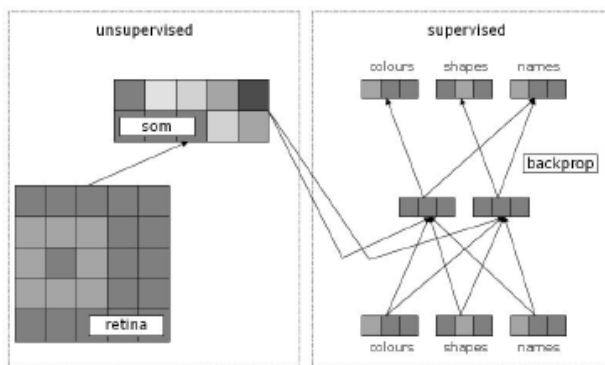
Pro učení se na základě podnětů z externího prostředí je nutné, aby architektura dokázala dostatečně reprezentovat externí objekty, a byla schopná se v případě potřeby rozšiřovat. Ilustrativním přístupem je tvorba agenta, napojeného na server, který slouží jako paměťový sklad pro reprezentaci objektů, se kterými agent přijde do styku (Seabra Lopes, 2006). Systém je schopen pomocí supervised učení vytvořit libovolně velký slovník, přičemž každý objekt je reprezentován i perceptuálně. Možnosti zvětšujícího se slovníku jsou pro reprezentaci velmi podstatné. Ve vlastním systému se snažím tuto problematiku řešit pomocí typu sítí GSOM (Growing self organizing maps), umožňující přidávat počet neuronu pro reprezentaci vstupů z prostředí v závislosti na interakci agent-prostředí.

Robustnější verzi předchozího modelu je architektura CELL (Roy, 2002), která vytváří mapování mezi obrazovým a zvukovým vstupem, přičemž používají odlišné mechanismy zajišťující ukotvení. V současné době chtějí autoři využít architekturu ke zpracování obrazových a zvukových informací během prvních třech let vývoje dítěte. Projekt s názvem Speechome (Roy, 2006????) se tak stane nejrozsáhlejším pokus o vytvoření systému, schopného reprezentovat okolní prostředí na základě kategorizace perceptů.

Velmi inspirativním zdrojem pro můj model je Rigou navržená architektura pro ukotvování a objektů, jehož hlavní výhodou je schopnost přenosu ukotvení ((Riga, Cangelosi a Greco 2004). Ta byla načrtnuta již v jeho dřívějších pracích dvou jeho spoluautorů, ve kterých využívají výhod symbolického systému (systematicita, kompozicionalita) již v prvotní fázi, tzn. navrhují ukotvovat pouze perceptuální primitiva a s následnými reprezentacemi poté pracovat v symbolické úrovni (Cangelosi, Greco, Harnad, 2000). Přístupu se říká „symbolická krádež“.

V nově navrhovaném modelu je použito unsupervised učení, pomocí něhož dochází k formaci konceptu, a následně je této formaci pomocí supervised učení přiděleno jméno. Základní ukotvené symboly se týkají barev a tvaru prezentovaných objektů. Po ukotvení mohou být použity pro tvorbu deskripce nových kategorií. Přístup, založený na principu „symbolické krádeže“ je znám jako grounding transfer (přenos ukotvení). Nové symboly jsou definovány bez nutnosti přímého kontaktu s referentem (externím prostředím), což umožní vyjádřit význam objektu, bez nutnosti přímé zkušenosti (Riga, Cangelosi a Greco 2004)

Podívejme se na model trochu blíže. V první fázi jsou prezentovány obrázky objektů různých tvarů a barev. Systém se učí diskriminovat a vytváří mapu vlastností pomocí unsupervised učení. V následné fázi jsou prezentovány symbolů společně s obrázky. Každý obraz asociován se symboly tvořenými arbitrární bitovou sekvencí, která reprezentuje jména pro vlastnosti barev a tvarů. Síť musí reprodukovat stejné symboly na výstupu. Během této fáze jsou symboly přímo ukotvené v sensorický reprezentacích získaných v první fázi.



Obr. 1 Model přenosu ukotvení (Riga, Cangelosi a Greco 2004)

Ve třetí fázi je trénovací vstup pouze symbolický. Používáme deskripce obsahující již naučené symboly v kombinaci s novým symbolem který denotuje kategorii objektu. Např. Červený+Čtverec=DAX. Deskripce známých a neznámých objektů jsou prezentovány síti. Během testové fáze pak můžeme projikovat na retinu nové a neznáme obrázky, abychom potvrdili zda došlo ke transferu grounding. Jestli k němu došlo, měl by se na výstupní vrstvě objevit správné označení objektů. (Riga, Cangelosi a Greco 2004)

V jejich přístupů je koncept definován jako seznam vlastností. Mohou být ukotveny přímo, nebo mohou derivovat ukotvení z deskripce. Systém zajišťuje transfer grounding z přímo ukotvených jmen vlastností na jména získaná nepřímo učením jazyka. (Riga, Cangelosi a Greco 2004). Kombinací výše zmíněných způsobů ukotvení se

dá zajistit vznik perceptuálně kotvených významů, které mohou provádět v symbolické rovině grounding transfer. Lze tak například vytvořit slovo zebra ze slov kůň a pruhy (Cangelosi, 2006).

Míněný přístup však proces transferu groundingu příliš zjednodušuje. Přenos a kombinací perceptuálních vlastností a jejich univerzální použití v symbolické rovině není automaticky zajištěno. Bez perceptuální znalosti zebry nelze v symbolické rovině určit jakým způsobem aplikovat pruhy na koně, jelikož možností propojení těchto slov do perceptuálního vjemu je mnoho (absurdně například pruhy na kterých je namalován kůň). V takto elementárním systému nelze pouhou kombinací vlastností objektů definovat (ukotvit) složený objekt. Prezentované námitky jsou opodstatněné, ale při současném stavu modelů ukotvení předčasně. Již samotný pokus o elementární způsob kompozicionality objektů a vlastností je velmi podstatným krokem vpřed. V rozšířené verzi vlastního modelu se touto otázkou také zabývám, přičemž používám odlišný způsob řešení.

Dalším modelem ukotvení, který má s navrhovaným systémem společnou oblast zájmů, je Regierův model z roku 1996. Prezentuje systém schopný na základě perceptuálního vstupu rozpoznat prostorové vztahy mezi objekty.

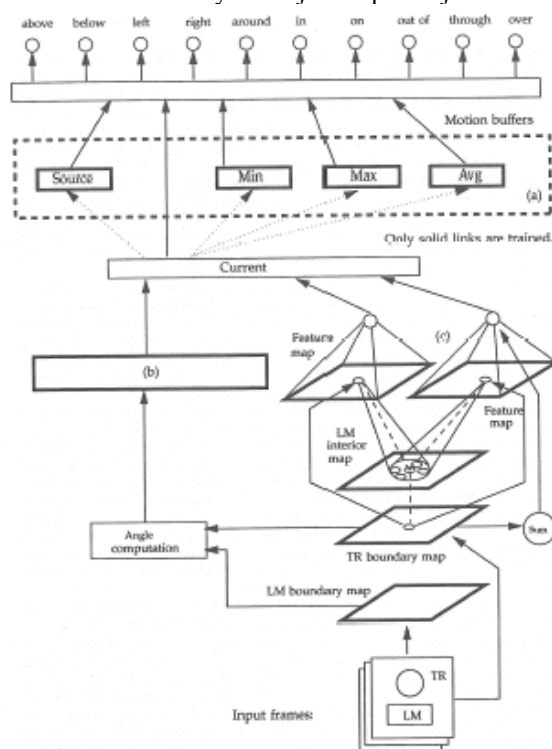
Vychází z předpokladu že prostorové vztahy jsou tak fundamentální, že pravděpodobně strukturují a mohou působit jako metafora v ostatních kognitivních systémech. Což znamená že ovlivňuje i jazyk. Ve svém přístupu ale načrtnuté východisko nedodrží striktně. V polemice o vztahu mezi nonlingvistickými a lingvistickými kategoriemi a jejich vzájemné hierarchii, tedy otázce, zda je jeden systém nadřazen druhému, se přiklání spíše na stranu privilegovanosti lingvistických kategorií. Autor tvrdí, že se děti tvoří sémantické koncepty na základě sémantické struktury jazyka, který se učí (Regier, 1996). Začleňuje se tak do dlouhé řady výzkumů, které se snaží jak pomocí psychologických experimentů (např. Gopnik, 1984) nebo v rovině modelů (Siskind, 1992) prokázat privilegovanost jednoho systému v procesech reprezentace prostředí. Argumenty jednotlivých stran jsou natolik protichůdné, že jejich podrobná analýza je nad rámec článku. S některými detaily se seznámíme v pasáži věnované psychologickým aspektům vnímání prostoru. Připomínám je zde proto, že ve svém přístupu se nepřikláním ani na jednu stranu. Jednotlivé reprezentační systémy jsou brány jako rovnocenné. Snažím se nalézt takový způsob jejich reprezentace, ve kterém by byly zachyceny jejich výhody, přičemž cílem je nalézt způsob mapování, který jednotlivé vlastnosti zohledňuje a snaží se je integrovat do společného rámce. Větší prostor je této metodě věnován v popisu konkrétního modelu.

Vrátíme se však ještě k Regierovu modelu. Pro tvorbu modelu používá architekturu omezeného konekcionismu, což je varianta neuronových sítí, u kterých je způsob propojení vytvořen z ohledem na snadnou analyzovatelnost modelu. Cílem je vytvořit systém propojených neurálních modulů, u kterých můžeme přesně určit k jaké transformaci slouží a vzájemnou součinností vytvářet konečný systém. Oproti klasickému konekcionismu, u kterého je způsob práce sítě v jednotlivých vrstvách „lidsky nečitelný“ tak získáváme designérskou výhodu. Bohužel je takový přístup díky zmíněným omezením do značné míry redukcionistický a ve své extrémní podobě může připomínat sémantické sítě, jak je navrhl Quillian (????).

Samotný model slouží k ukotvení prostorových vztahů. Sítě jsou prezentovány statické obrázky či krátké sekvence, ve kterých se vyskytují dva objekty v různých prostorových konstelacích, přičemž systém je učen prostorových označením prezentovaných konfigurací. Autor využívá poznatků z oblasti psychologie, jako je učení se bez negativních příkladů, používání vzájemné výlučnosti vedoucí k rozlišování antonym a podobně. Výpočet polohy jednotlivých objektů provádějí specializované théta neurony, detekující orientace dvou objektů. Jedná se o proximální orientaci, což jsou nejbližší vzdálenost mezi objekty a orientace na centrum hmoty, tedy vzdálenost mezi centry objektů.

Pomocí součinnosti specializovaných modulů jsou detekovány prostorové vztahy statických objektů.

Celková architektura systému je komplexnější.



Obr.2 Schéma modelu ukotvení prostorových vztahů (Regier, 1996)

V jednotlivých modulech (sítích) jsou detekovány kontury, objekt je vyplněn, přičemž paralelně jsou počítány již zmiňované orientace. V "current" vrstvě dochází k integraci těchto modulů pro statické prostorové vztahy (vlevo, vpravo apod.). Dynamické scény jsou zpracovávány až v následujících modulech, pro které je "current" vrstva vstupem. Pomocí metody zdroj-cesta-cíl jsou následně odvozeny dynamické prostorové vztahy (skrz, kolem atd.).

Přestože je tento model postaven z velké části na designérském principu (jasná predefinovanost modulů), hovoří autor o biologické inspiraci a biologické plausibilitě svého systému. Existují neuroanatomické struktury podobné théta-neuronu, jelikož mnoho buněk vizuálního kortexu je citlivých na orientaci vizuálních stimulů. Jejich citlivost je omezena jen pro určité orientace (jako théta-neurony). Vizuální neurony ale reagují na konkrétní informace, narušují od théta-neuronů, které pracují s abstraktnější informací, jako je centrum hmoty ap. Na druhou stranu Heyd, Peterhans a Baumgartner (1984) dokázali, že neurony v area 18 jsou citlivé na orientaci iluzorních kontur, tedy kontur, které lidský pozorovatel vnímá, ale neodpovídají fyzickým rozdílům světelnosti obrazu (Kanisza, 1979). V mozku

jsou tedy neurony citlivé na abstraktní vlastnosti obrazu, podobně jako théta neurony. Model je v této úrovni částečně biologicky plausibilní.

Přestože je Regierův model unikátním příkladem systému schopného kategorizovat prostorové vztahy na základě perceptuálních informací, je způsob jeho tvorby a použité mechanismy v rozporu s principy ukotvení symbolů. Například způsob učení na základě backpropagation algoritmu, tedy učení z učitelem v sobě obsahuje skrytý předpoklad řízení architektury „shora-dolů“. Díky tomu že modul označení kategorií je umístěn v hierarchicky nejvyšší části architektury, je zjednodušen způsob akvizice prostorových označení. Autor neřeší získávání auditivní informace a její společnou integraci s vizuální sensorickou informací. Proto jsem se rozhodl (na podkladě zmíněných poznatků) pro tvorbu systému, který by k procesu ukotvení přistupoval více fundamentálněji a zohledňoval auditivní i vizuální informace. Ještě před samotným popisem modelu se budeme věnovat analýze úlohy, pro kterou je systém navržen. Jestliže se jedná o reprezentaci prostoru, zajímají nás základní psychologické a neurobiologické poznatky, týkající se zmíněné domény.

4 Repräsentace prostoru

V klasickém modelu Baddeleye a Hitcha (1974) byla vizuální a prostorová informace zpracovávána v jednom systému - vizuálně-prostorovým náčrtníkem. Současné studie však poukazují na to, že tato část pracovní paměti je složena ze dvou specializovaných systémů - vizuálního a prostorového. Vizuální systém slouží k zapamatování tvarů, textury, barvy a metrických rozměrů. Prostorový systém uchovává polohou a pohybovou informaci (Knauff, 2006). Klauer a Thao (2004) prokázali markantnější ovlivnění vizuální krátkodobé paměti vizuální interferencí. Prostorová paměť je stejným způsobem ovlivněna prostorovou inferencí. Prostorové úlohy aktivují okcipitální a parietální regiony pravé hemisféry, tedy oblasti dorzální "Kde" dráhy a vizuální úlohy aktivují inferotemporální oblasti levé hemisféry, oblasti ventrální "Co" dráhy (Ungerleider, Mishkin, 1982). „Kde“ dráha je zodpovědná za vnímání prostoru a vykonávání akcí, obsahuje velká receptivní pole a je citlivá na směr pohybu. Při své činnosti využívá informace o poloze hlavy a oka. Od této vlastnosti jsme museli bohužel v modelu (stejně jako většina ostatních autorů) abstrahovat. Nejsilnější důkazy o existenci specifické dráhy pro vnímání prostoru pocházejí z výzkumů hemiprostorových neglektů - přehlížení poloviny zorného pole (O Reilly, 2006). Psychologické experimenty týkající se vnímání prostoru se soustřeďují na privilegovanost lingvistických a nonlingvistických subsystému, popřípadě se snaží

odhalit, zda existují privilegované osově směry či kategorie. Landau a Jackendoff (1993) uvádějí, že jazyk má méně označení pro prostorové vztahy než pro názvy objektů, protože vizuální systém kóduje prostorové vztahy méně přesně než vlastnosti objektů. Někteří autoři přicházejí s názory, že prostorové vztahy nesouvisí pouze na vzdálenosti (např. euklidovské) mezi objekty, ale také na jejich vzájemném vztahu. McNamara (1986) zjistil, že po fázi učení se prostorové lokace objektů, jsou blízké objekty více asociovány a primují jeden druhý než je tomu u vzdálenějších objektů. Ale objekty v jednom ohraničeném regionu jsou více primovány než stejně vzdálené objekty ve dvou regionech. Prostorový priming tedy není závislý pouze na vzdálenosti, ale i na úrovni vztahu mezi objekty. Badatelé docházejí k závěru, že prostorová informace není reprezentována v euklidovském systému, ale že i hierarchické a prostorové vztahy také ovlivňují jeho fungování. (Langston, Kramer a Glenberg, 1998) Lépe řečeno, vnímání prostoru není založeno čistě na euklidovském systému, ale je tvořeno součinností více úrovní zpracování dohromady.

Někteří autoři však představu euklidovského prostoru zcela zavrhnou. Tversky a kolegové (1990,1992) dochází k závěru, že prostorová označení jsou kódována pomocí "prostorové soustavy", která je rozhodně neeuklidovská. Pomocí experimentů, ve kterých ZO memorovala scénu a následně si měly vybavovat objekty různými způsoby pohybu po scéně (shora-dolů, zleva-doprava apod.), zjistil funkční závislost reakční časů vybavení pro různé způsoby prohledávání scény, přičemž nejrychleji si lidé vybavují objekty při pohybu shora dolů, a nejmaleji zleva-doprava. Obecně lze říci, že kognitivní reprezentace derivované z percepce, obrázku či opakovaného textu (Denis, Cocude, 1992) může mít euklidovské komponenty, ale podstata těchto komponent neovlivňuje pochopení textu (Langston, Kramer a Glenberg, 1998).

Rozpory nacházíme i ve výsledcích výzkumů týkajících se privilegovanosti osových systémů.

Hayward a Tarr (1995) potvrdili sérii experimentů, že lingvistická organizace staví na nelingvistických principech. Prokázali privilegovanost horizontálního a vertikálního osového systému, na který jsou napojeny prototypy prostorových vztahů a následně označení prostoru.

Huttenlocher (1991) oponuje, že nonlingvistické kategorie leží i podél diagonálních os.

Autorka použila jiný způsob zadání, který mohl determinovat výsledek. Zmíněný způsob však nelze zahrnout, jelikož eliminuje standardní zadávání úlohy na pravouhlejším podkladě, který determinuje řešení úlohy. V navrhovaném systému nepoužívám žádný privilegovaný osový systém. Vycházím z názoru, že

kognitivní zpracování prostoru je plastické a je se schopno v případě potřeby přizpůsobit na libovolný způsob percepcce prostoru. Spory o privilegovanosti systému souvisí pouze s mírou frekvence prezentace podnětu. Privilegované jsou pouze směry, ve kterých jsou nám objekty nejčastěji prezentovány. Systém je v tomto případě z velké části determinován prostředím. Podobně je to i s privilegovaností systémů, které se na vnímání prostorů podílejí.

Landau (2001) poukazuje, že některé prostorové označení se člověk učí bez nutnosti ukotvení v nelingvistické prostorové reprezentaci. např. nahoře jako antonymum dole, nebo rozdíl mezi "between" a "among". S podobným tvrzením se potkáme i Regiera (1996), ale jedná se o diskutabilní názor. Schopnost antonym je dána architekturou sítě a závisí na inhibici vzdálených uzlů (z hlediska aktivace). Ani jeden příklad není správný. Už samotná možnost antonym vyžaduje prostor, ve kterém se může opositum nacházet. v případě between a among potřebujeme znát počet objektů v prostoru (tedy opět nonlingvistickou perceptuální informaci) abychom mohli vytvořit prostorové označení.

Mnoho badatelů se shoduje, že prostorové vnímání není tvořeno pouze jedním absolutním a systémem, ale je nutná součinnost více referenčních systémů. Jazykové označení prostorových vztahů využívá rozličných referenčních systémů (Carlson-Radvansky & Irwin, 1993). Jiné výsledky ukazují, že propojení jednotlivých systému není tak pevně dané, např. termíny nahoře a dole souvisí z osami objektu. Jedná se o termíny kategoriální a nejsou sensitivní k metrickým vlastnostem jako úhel či vzdálenost (Talmy, 1983; Landau & Jackendoff, 1993). Použití více referenčních systému zohledňují v rozšířené verzi navrhovaného modelu. V jednoduché variantě je systém založen pouze na absolutním systému orientace, který je mapován na auditivní vstup. Souvisí to se zadáním úlohy, kdy je systému prezentován pouze jeden objekt v prostoru.

Závěrem této části je nutné zdůraznit, že přestože nám psychologické výzkumy přinášejí velmi důležitá empirická zjištění, týkající se zkoumané domény, jsou výsledky v konečném důsledku rozporné. Příčinu problému vidím v použitých metodách. Zkoumaná oblast leží mimo rámec „nástrojů“ používaných v psychologii (experiment, výzkum, dotazník). Což znamená neschopnost přesně identifikovat procesy, podílející se na vzniku dané kognitivní schopnosti. Získané poznatky můžeme využít pouze jako inspirační zdroje pro aplikaci metody kognitivního modelování. Zároveň jsou empirické poznatky cenným pomocníkem pro návrhu modelu a ušetří mnoho slepých uliček při tvorbě architektury, schopné napodobit zkoumanou oblast. Proto jsem zde uvedené přístupy zmínil. Pro úplnost zde shrnu

svá východiska, odvozená na základě zmiňovaných výzkumů.

Lingvistické a nonlingvistické reprezentace (systémy) se navzájem ovlivňují, přičemž, ani jeden systém není privilegovaný, ale pracují synergicky, využívají výhod odlišných způsobů reprezentace.

Pro reprezentaci prostoru nepostačuje vytvořit jeden absolutní systém, ale je třeba architekturu budovat na základě součinnosti specifických referenčních (relativních) subsystémů.

Při vnímání prostoru neexistují privilegované osově systémy. Způsob tvorby prostorových kategorií záleží na frekvenci výskytu objektu v prostoru, popřípadě množstvím prostorových označení a je tedy determinován informacemi z prostředí.

Systém musí reprezentovat i auditivní vstupy formou, který zohledňuje způsob kódování auditivní-jazykové informace. Více si o tom povíme v následující kapitole. Je nutné využít potenciálu unsupervised učení, zajišťující omezení designérova vlivu při trénování systému a umožňující systému vytvářet reprezentace na základě interakce s prostředím

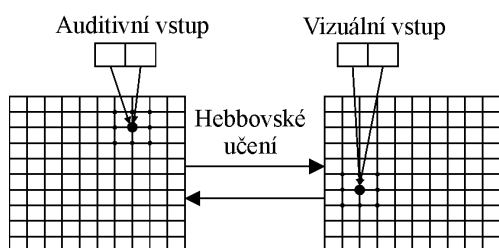
5 Model ukotvení prostorových vztahů

Nyní již můžeme přistoupit k samotné definici navrhovaného systému. Pro jeho základ sloužily výše zmíněné modely ukotvení, které byly doplněny a rozšířeny. Architektura využívá jako základní prvek vizuálního i auditivního reprezentačního systému vlastnosti samoorganizujících se map (Kohonen, ???). Pro vizuální systém použil zmíněný typ sítě již Riga (2004). V jeho případě však mapy uchovávaly invariantní reprezentace objektu a barev, nikoliv prostorových vztahů. V našem případě jsou samoorganizující mapy (SOM) použity jak pro vizuální informace, tak pro zvukové vstupy. Právě reprezentace zvukového vstupu, která se má strukturu jazykové promluvy a lze ji nazírat jako symbolickou, je slabinou předchozích modelů. Jak Riga, tak Regier tuto část systému vytvářejí redukcionisticky. Regierův model auditivní vrstvu vůbec neobsahuje. Prostorová (jazyková) označení jsou výstupní vrstvou neuronové sítě, což můžeme interpretovat různě. Model buď symbolickou vrstvu apriorně obsahuje, nebo dochází k auditivnímu předzpracování a slova jazyka můžeme reprezentovat jako prostorové označení kategorií, které nemají žádné auditivní vlastnosti. Tím ale naplno nevyužíváme jejich potenciál a výhody. Rigův model auditivní vstup obsahuje, ale je reprezentován jako arbitrární řetězec, který je asociován na perceptuální kategorie. Takový způsob ukotvení opět pně nevyužívá potenciál auditivního vstupu. V našem modelu se snažíme pracovat se zvukovým vstupem poněkud jinak. Podobně jako je

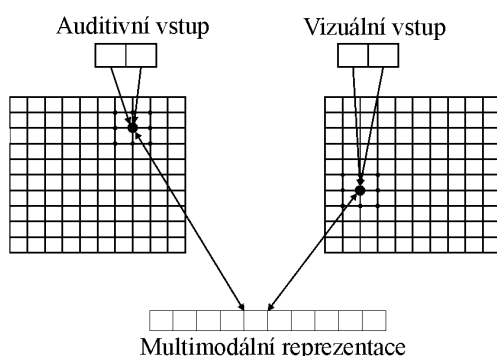
vizuální vstup kategorizován podle topologických vlastností, je audio vstup nejdříve reprezentován topologickou mapou. Oproti prostorové podobnosti zde používám odlišný princip. Vycházím z předpokladu, že zvukový vstup, který je strukturován jako jazyková promluva, lze bez předchozí sémantické či syntaktické znalosti získat mnoho informací, které nám mohou pomoci při tvorbě následných reprezentací. Pokud vycházím z předpokladu, že malé dítě dokáže v prvních fázích analyzovat promluvu na úrovni slov, nabízejí se nám následující možnosti. Bez předchozí znalosti můžeme slova členit podle zvukové podobnosti, podle délky, podle blízkosti jejich výskytu v čase apod. Veškeré tyto informace jsou v promluvě bezprostředně obsaženy. Přestože se může zdát, že tyto vlastnosti nám nemůžou usnadnit proces integrace zvukových reprezentací s vizuálními, nemusí to být pravda. Jestliže přistupujeme k otázce ukotvení symbolů s požadavkem minimálního zásahu designéra, je nutné využít vlastností vstupů při tvorbě reprezentací. Považujeme-li audio vstup za nositele symbolického kódu, bylo by krátkozraké během jeho prvotní reprezentace redukovat veškeré vlastnosti, které jej charakterizují. I když se nabízí možnost reprezentovat jazykovou promluvu (která je vlastně nosičem symbolického označení) jako arbitrární sérii (sekvenci), pokusíme se uvažovat odlišně. Přestože samotná jazyková promluva není sémantická (k ničemu neodkazuje), ve způsobu svého kódování obsahuje informace (jak bylo zmíněno výše), které nám pomohou při její reprezentaci v systému. V našem zjednodušeném modelu, vyjádříme jednotlivé slova podle fonetických příznaků (zvukové podobnosti) a také pomocí délky. Nabízí se možnost použít jako jednu dimenzi časovou blízkost (například slova nahoru dolů se vyskytují během učení dítěte po sobě a implicitně tak definují antonyma), ale takový způsob reprezentace by mohl být příliš „apriorní“ a mohl by se stát terčem kritiky. V našem zjednodušeném modelu je tedy audio vstup reprezentován dvourozměrným vektorem, který obsahuje informaci o fonetické podobnosti prostorových označení a druhou hodnotou je délka slova). V následující verzi modelu uvažuji o použití jiných typů samoorganizujících se map (rostoucích SOM, hierarchických rostoucích SOM či Neural Gas), které umožní růst „slovníku“ bez fixního počtu neuronu pro jejich klasifikaci. V prvotní fázi je však systém určen pouze pro fixní počet prostorových označení, takže je použita klasická SOM. Nejtěžším úkolem pro systémy pokoušející se o ukotvení symbolů je splnění požadavku systematicity a kompozicionality svých reprezentací. Přestože se objevují pochybnosti o sémantické úrovni striktně formálních symbolických systémů (viz. pasáž věnovaná korespondenční teorii pravdy), budeme se na našem systému pokoušet demonstrovat elementární formu

kompozicionality, založené na principech grounding transferu (Cangelosi, 2006). Systém by tedy po naučení základních prostorových pojmů měl být schopen vytvářet složené pojmy jako „vlevo nahoře“, či „blízko dole“. Vizualní informace jsou reprezentovány také za použití SOM. Takto vytvořená vrstva je schopna pomocí sítě laterálně propojených neuronů vytvořit prototypy části prostoru, tedy klastry s blízkou topologickou orientací. Vstupem je opět dvourozměrný vektor, který reprezentuje prostorovou polohu předmětu. Opět abstrahuji od prvotního zpracování informace, které by šlo celkem snadno vytvořit pomocí umělé retiny. Samoorganizující mapa prostoru není postavená na poznacích z neurověd a kromě principu samoorganizace není biologicky plausibilní. V rozšířené verzi modelu jsou již způsoby propojení, jejichž autorem je evoluční princip, zohledněny. Ve zmíněné verzi je také oproti Regierovu modelu odlišně řešeno zpracování dynamických scén. Na rozdíl od identifikace dynamické scény až ve vrchních vrstvách sítě, je v našem modelu vytvořen duální systém zpracování již v prvotní úrovni. V případě prezentace statické scény je informace zpracována samoorganizující se mapou citlivou na polohu objektů. V případě dynamické scény, je aktivována vedlejší SOM mapa, která obsahuje neurony citlivé na pohyb. Ty pomocí rekurence či časové prodlevy dokáží klasifikovat dynamické prostorové vztahy (skrz, okolo). Zároveň také částečně inhibují statickou SOM mapu, čímž je vyřešeno rozlišení statických a dynamických scén na základě informace z prostředí. V první fázi testování modelu je dostačující pouhá klasifikace statických scén. Ta je umožněna díky propojení auditivní a vizuální SOM pomocí Hebbovského učení. Hlavní inspirací pro navrženou architekturu je obdobný model pro akvizici jazyka (Farkaš, 2003). V rozšířené verzi pak počítám s přidáním další vrstvy, která bude schopná nahradit fixní propojení dvou SOM map společnou formou reprezentace. Reprezentace bude distribuovaná, protože systém není omezován designérským principem a také neobsahuje další přídavné vrstvy, které by na základě pobytu v prostředí takové reprezentace omezovaly či redukovaly. Základní schéma modelu na vyznačeno na obr. 2.

Základní varianta



Rozšířená varianta



Obr.3 Návrh architektury pro ukotvení prostorových vztahů

Ze samotného modelu je jasné, že přistupuji k problematice ukotvení symbolů z pozice, která explicitně nepředpokládá subsystémy, pracující na čistě symbolické úrovni. Spíše se snažím o emergenci perceptuálně ukotvených elementů přirozeného jazyka, které pomocí vhodných mechanismů reprezentace získávají vlastnosti přisuzované symbolickému systému. Tyto schopnosti však musí fungovat na základě ukotvených významů a nikoliv na základě principů či mechanismů, které jsou systému dodávány externě.

5.1.1 Závěr

Navržený model tvoří praktickou část mé disertační práce. Při jeho návrhu jsem se snažil zohlednit jednotlivé obory konstituující kognitivní vědu a možnosti jejich přínosu pro danou problematiku. Hlavním cílem je pomoci odhalit některé nejasnosti týkající se sémantiky umělých systémů. Uplynulá desetiletí nám přinesla několik návrhů řešení, ale do dnešních dní se neobjevují systémy, které by si byly schopny poradit byť jen s elementární formou významu, či by se dokázaly napodobit schopnosti člověka, byť jen v prvních měsících života. Neschopnost řešení problémů v teoretické rovině a rozdílnost názorů a výsledku empirických výzkumů vybízí k jedinému logickému kroku. Tím je tvorba konkrétních modelů, jejichž sémantické schopnosti jsou ověřitelné pomocí kritéria, zaručujícího velmi jasnou

odpověď. Tímto kritériem je funkčnost a efektivita modelu při zpracování úloh, které si vyžadují pochopení významu při svém zpracování. Testování navrženého modelu probíhá v době psaní tohoto článku, takže jejich výsledky do něj nestihnu zahrnout. Během prezentace příspěvku na konferenci jím bude věnován dostatečný prostor.

V samotném závěru bych chtěl poděkovat doc. Igoru Farkašovi z Katedry aplikované informatiky a matematiky Komenského univerzity v Bratislavě, že mi nabídl pomocnou ruku při realizaci prezentovaného modelu a poskytl mi potřebné zázemí. Bez jeho pomoci, by bylo uskutečnění tohoto projektu velmi komplikované a zdlouhavé. Děkuji také ostatním členům katedry za příjemné pracovní podmínky.

Literatura

- [1] L. W. Barsalou.: Perceptual symbol systems. *Behavioral and Brain Sciences* 22 (1999) 577-609
- [2] R. A. Brooks: The Engineering of Physical Grounding. *Proceedings of the Fifteenth Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (1993) 153-154. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- [3] A. Cangelosi, A. Greco and S. Harnad: From Robotic Toil to Symbolic Theft: Grounding Transfer from Entry-Level to Higher-Level Categories. *Connection Science* 2 (2000) 143-162
- [4] A. Cangelosi, A. Greco and S. Harnad: Symbol Grounding and the Symbolic Theft Hypothesis. In: *Simulating the Evolution of Language*. (A. Cangelosi and D. Parisi, Eds.), London, Springer, 2002: 191-210.
- [5] A. Cangelosi and S. Harnad: The Adaptive Advantage of Symbolic Theft over Sensorimotor Toil: Grounding Language Perceptual Categories. *Evolution of Communication, special issue on Grounding Language*. 4 (2001) 117-142
- [6] D. J. Chalmers: Subsymbolic Computation and the Chinese Room. In: *The Symbolic and Connectionist Paradigms: Closing the Gap*, (J. Dinsmore, Ed.), Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1992: 25-48
- [7] A. Clark: *Associative Engines*. MIT Press, Cambridge, MA, 1993
- [8] D. Cole: The Chinese Room Argument, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Fall 2004 Edition)*, (Edward N. Zalta Ed.), URL =

- <http://plato.stanford.edu/archives/fall2004/entries/chinese-room/>.
- [9] S. Coradeschi and A. Saffioti: An Introduction to the Anchoring Problem. *Robotics and Autonomous Systems* 43 (2003) 85-96
- [10] P. Davidsson: Toward a General Solution to the Symbol Grounding Problem: Combining Machine Learning and Computer Vision. In: *AAAI Fall Symposium Series, Machine Learning in Computer Vision: What, Why and How?*, 1993: 157-161.
- [11] G. Dorffner and E. Prem: Connectionism, Symbol Grounding, and Autonomous Agents. In: *Proceedings of the Fifteenth Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 1993: 144-148.
- [12] G. Dorffner, E. Prem, H. Trost: Words, Symbols, and Symbol Grounding, *Oesterreichisches Forschungsinstitut fuer Artificial Intelligence, Wien* TR- 93-30 (1993)
- [13] G. Dorffner, M. Hentze, G. Thurner: A Connectionist Model of Categorization and Grounded Word Learning, In: *Proceedings of the Groningen Assembly on Language Acquisition: (Koster C., Wijnen F. eds.)*, (GALA '95)
- [14] J. A. Fodor, Z. Pylyshyn: Connectionism and cognitive architecture: A critical analysis. *Cognition* 28, (1988) 3-71.
- [15] S. Harnad, (Ed.): *Categorical Perception: the Groundwork of Cognition*, New York: Cambridge University Press, 287-300, 1987
- [16] S. Harnad: The Symbol Grounding Problem. *Physica D* (1990) 335-346.
- [17] S. Harnad: Grounding Symbols in the Analog World with Neural Nets – a Hybrid Model. *Psychology* 12 (2001) 12-78.
- [18] N. Chomsky: *Syntactic Structures*. The Hague: Mouton, 1957
- [19] I. Kant: *Kritika čistého rozumu*. Praha: Oikomenh, 2001
- [20] S. M. Kosslyn: *Image and Mind*. Cambridge: Harvard University Press, 1980
- [21] S. M. Kosslyn, G. Ganis and W.L. Thompson: Mental imagery: Against the nihilistic hypothesis. *Trends in Cognitive Science* 7 (2003) 109-111.
- [22] D. Law, and R. Miikkulainen: Grounding Robotic Control with Genetic Neural Networks. *Tech. Rep.* AI94-223. Austin: Dept. of Computer Sciences, The University of Texas at Austin: 1994
- [23] A. Paivio: *Mental representation: A dual coding approach*. New York: Oxford, 1986
- [24] J. Piaget: *Psychologie intelligence*. Praha: Portál, 1999
- [25] T. Regier: The Acquisition of Lexical Sémantice for Spatial Terms: A Connectionist Model of Perceptual Categorization. *PhD Thesis / Tech. Rep.* TR-92-062. Berkeley: Dept. of Computer Science, University of California at Berkeley: 1992
- [26] D. Roy: Grounding Language in the World: Schema Theory Meets Semiotics. (2004) URL: <http://web.media.mit.edu/~dkroy/papers/pdf/aij.pdf>
- [27] J. Searle: Minds, Brains, and Programs. *Behavioral and Brain Sciences* 3 1980 417-458
- [28] N. E. Sharkey and S. A. Jackson: Three Horns of the Representational Trilemma. In: *Symbol Processing and Connectionist Models for Artificial Intelligence and Cognitive Modeling: Steps towards Integration*, (V. Honavar and L. Uhr, Eds.), Cambridge, MA: Academic Press, 1994: 155-189.
- [29] N. E. Sharkey and S. A. Jackson: Grounding Computational Engines. *Artificial Intelligence Review* 10 (1996) 65-82.
- [30] J. A. L. Singh, R. M. Zingg.: *Wolf-Children and Feral Man*. Shoe String Pr Inc, 1966
- [31] P. Smolensky: On the proper treatment of connectionism. *Behavioral and Brain Sciences* 11 (1988) 1 - 74.
- [32] M. Tadeo, L. Floridi: The Symbol Grounding Problem: a Critical Review of Fifteen Years of Research. *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence* (2005) 419 – 445.
- [33] N. J. T. Thomas: Are theories of imagery theories of imagination? An active perception approach to

conscious mental content. *Cognitive Science* 23 (1999) 207-245.

- [34] D. S. Touretzky, G. E. Hinton: Dymbols Among the Neurons Details of a Connectionist Interference Architecture. In: *Proceedings of the 9th International Joint Conference on Articial Intelligence (IJCAI-85)* Los Angeles, Kalifornia
- [35] F. Varela, E. Thompson,E. Rosch: *The Embodied Mind - Cognitive Science and Human Experience*. Cambridge, MA: MIT Press / Bradford Books, 1991
- [36] L. Wittgenstein: *Philosophical investigations*. New York: Macmillan, 1953
- [37] T. Ziemke: Rethinking Grounding. In: *Understanding Representation in the Cognitive Sciences*, (A. Riegler, M. Peschl and A. von Stein, Eds.), New York: Plenum Press, 1999: 177-190.