

# Kognitívna sémantika rozlišovacích kritérií

Martin Takáč

Katedra aplikovanej informatiky FMFI UK  
Mlynská dolina, 842 48 Bratislava  
takac@ii.fmph.uniba.sk

## Abstrakt

V článku prezentujeme novú sémantiku vhodnú na reprezentáciu konceptov v dynamických a otvorených prostrediach, pre kognitívne modely vývoja a osvojovania jazyka, ako aj pre BDI architektúry a multiagentové aplikácie. Sémantika je založená na perceptuálne ukotvených konceptuálnych štruktúrach - rozlišovacích kritériách, ktoré sú jednotiacim formálnym rámcom pre reprezentácie objektov, vlastností, vzťahov, zmien, udalostí a situácií. Ďalej opisujeme mechanizmus osvojovania a aktualizovania kritérií senzomotorickými a lingvistickými interakciami s prostredím a analyzujeme ich pragmatickú použiteľnosť.

## 1 Úvod

Osvojovanie si jazyka sa tradične chápe ako problém získania správnych asociácií medzi externe pozorovateľnými formami (slovami, vetami, gestami) a internými významami [15]. Významy, ako mentálne koncepty, sa buď považujú za vrodené [6], získané interakciou so svetom [3] alebo vytvorené čisto vplyvom samotného jazyka [26]. Ak by sme prijali extrémny názor, že všetky koncepty sú vrodené, osvojovanie si jazyka by spočívalo iba v naučení sa nových slov (nálepiek) pre existujúce významy. Ak by sme prijali opačný extrém, bez jazyka by nemohlo existovať žiadne myslenie.

Empirické výskumy napovedajú, že deti majú rôzne poznatky o svete omnoho skôr, ako začnú hovoriť [10], osvojujú si rôzne zručnosti a senzomotorické schémy [18] a rozlišujú medzi rôznymi objektami a situáciami [19]. Na evolučnej scéne sa jazyk objavuje pomerne neskoro, napriek tomu sú mnohé živočíšne druhy schopné kategorizovať (napr. identifikovať objekty vhodné na zjedenie alebo vyhodnotiť situáciu ako nebezpečnú). Slovo

koncept, resp. kategória<sup>1</sup> budeme odteraz používať na označenie abstrakcie schopnosti rozlišovať medzi objektami, situáciami, stavmi atď. [25] (teda ak napr. zvierka dokáže isté objekty identifikovať ako jedlo, povieme, že disponuje konceptom jedla). Z takejto definície konceptu vyplýva, že (aspoň niektoré) koncepty môžu existovať aj nezávisle od jazyka. V súvislosti s jazykom však hrajú dôležitú úlohu, pretože slúžia ako významy jazykových výrazov a poskytujú tak potrebné ukotvenie symbolov [11]. V tomto zmysle sú koncepty stelesnené neverbálne štruktúry späté s perceptuálnou skúsenosťou a fyzicky korešpondujú s aktivitami neurálnych okruhov korelujúcich s vnímaním, konaním, predstavovaním si alebo rozprávaním a počúvaním o obsahu, ktorý reprezentujú [1]. Kognitívna sémantika sa zaoberá skúmaním a formalizáciou takýchto štruktúr [7, 15, 22].

Podľa nášho názoru je dôležité, aby sémantika spolu s návrhom reprezentácie konceptuálnych štruktúr opisovala aj mechanizmy ich osvojovania. Takto poňatá sémantika môže nájsť uplatnenie nielen v kognitívnych modeloch, ale aj v industriálnych aplikáciách. Moderné technológie založené na autonómnych agentoch, ktoré navzájom vyjednávajú, vymieňajú si dáta a koordinujú svoje aktivity v otvorených a dynamických prostrediach, kde žiadna preddefinovaná ontológia či jazyk nemôže postihnúť vopred všetky potenciálne komunikačné témy, si vyžadujú agenty schopné vytvoriť si a kontinuálne aktualizovať ontológie relevantné prostrediu a vzájomným interakciám a vytvoriť si vlastný komunikačný systém.

Väčšina multiagentových modelov emergencie jazyka (prehľad v [13, 20]) však neposkytuje dostatočné prostriedky na reprezentáciu dynamických

<sup>1</sup>Výrazy koncept a kategória budeme v texte voľne zamieňať, používame ich v rovnakom význame.

konceptov ako sú procesy, udalosti, akcie a situácie, ktoré sú dôležité pre sémantiku slovies. V kognitívnej sémantike konceptuálnych priestorov [7] sú koncepty reprezentované ako oblasti v mnohorozmernom geometrickom priestore. Riešenie sémantiky slovies pridaním časovej dimenzie je však problematické [8, 25].

V tomto článku prezentujeme novú sémantiku, ktorá sa snaží prekonať vyššie opísané nedostatky. Sémantika je založená na perceptuálne ukotvených konceptuálnych štruktúrach – rozlišovacích kritériách, ktoré sú jednotiacim formálnym rámcom pre reprezentácie objektov, vlastností, vzťahov, zmien, udalostí a situácií. Významy slovies sú reprezentované ako medzikategoriálne asociácie kritérií. V článku definujeme a analyzujeme vzájomné vzťahy perceptuálnej, reprezentatívnej, jazykovej a pragmatickej úrovne ako aj dôsledky spriahnutia procesov formovania kritérií a osvojovania jazyka.

## 2 Úrovne opisu

Akýkoľvek agent – améba, webovský robot alebo človek, reagujúci na isté stavy svojho prostredia istým spôsobom, potrebuje rozlišovať medzi stavmi prostredia tie, ktoré sú relevantné jeho cieľom. Táto elementárna schopnosť považovať niektoré stavy prostredia za identické (vzhľadom na nejaké kritériá) a odlišovať ich od iných stavov, je jadrom každej kategorizácie.

V najjednoduchšom prípade čisto reaktívnych agentov chýba akákoľvek vnútorná reprezentácia a celé správanie je realizované formou priamych spojov „stimul - reakcia“ asociujúcich perceptuálne vstupy s behaviorálnym výstupom. V tomto článku sa chceme venovať zložitejším kognitívnym agentom vykonávajúcim úlohy vyžadujúce flexibilitu, učenie, vzájomnú kooperáciu a komunikáciu v dynamických prostrediach.

V ďalšom texte použijeme štyri úrovne opisu:

**Perceptuálna úroveň.** Táto úroveň tvorí rozhranie medzi externým prostredím agenta a vyššími úrovňami. V stelesnených agentoch zodpovedá signálom zo senzorov agenta predspracovaným nízkoúrovňovými perceptuálnymi rutinami. V softvérových agentoch zodpovedá vstupným dátam, na ktorých agent operuje, opísaným formou, ktorá je spracovateľná na reprezentatívnej úrovni.

**Reprezentatívna úroveň.** Toto je úroveň kategórií, resp. konceptov. Každý koncept je reprezentovaný *rozlišovacím kritériom* – funkciou, ktorá pre perceptuálny<sup>2</sup> vstup vracia hodnotu pravdepodobnosti, že vstup je inštanciou reprezentovaného konceptu.

**Jazyková úroveň.** Rozlišovacie kritériá agenta sú súkromné a nie sú priamo prenositeľné ostatným agentom. Agenty komunikujú pomocou konvenčne ustanovených signálov jazykovej úrovne. Významami jazykových signálov sú perceptuálne ukotvené kritériá z reprezentatívnej úrovne. Agenty môžu úspešne komunikovať, iba ak sú ich súkromné významy dostatočne podobné. To môže nastať, pokiaľ agenty používajú podobné mechanizmy formovania konceptov na základe podobných skúseností v zdieľanom prostredí.

**Pragmatická úroveň.** Na tejto úrovni agenty konajú v prostredí, plánujú a dosahujú ciele. Potrebné kauzálne znalosti o vlastných akciách a ich dôsledkoch sú reprezentované medzikategoriálnymi asociáciami kritérií, ciele sú reprezentované kritériami želaných situácií a plány sekvenciami akcií, ktoré by mali viesť z aktuálnej situácie do cieľa [25].

## 3 Perceptuálna úroveň

Budeme predpokladať, že dynamické prostredie agentov sa mení v diskretných krokoch. V každom kroku každý agent vníma *scénu* – množinu objektov opísaných rámcami párov atribút-hodnota, napr.

```
{vrcholy:3; veľkost:5; posX:12; posY:18} .
```

Rámce reprezentujú perceptuálny vstup relevantný pre agenta, napr. fyzické objekty v okolí agenta, prichádzajúce dáta, alebo agentov „proprioceptívny“ vstup (hodnoty vnútorných stavových premenných, parametre vykonávaných akcií, pozícia ramena atď.). Formálne je perceptuálny rámec  $f$  charakterizovaný množinou atribútov  $A_f$  a selektorom atribútov  $h_f : A_f \rightarrow \mathbf{R}$ . V texte budeme namiesto  $h_f(a)$  používať zaužívanejšiu notáciu  $f.a$ .

<sup>2</sup>Zložitejšie kritériá situácií a udalostí môžu dostávať ako vstup výstupy iných kritérií (pozri časť 4.7).

Rámce ešte nie sú reprezentáciou: ak dva agenty vnímajú rovnakú scénu, dostávajú identické množiny vstupných rámcov, ďalej ich však môžu spracovávať, kategorizovať a reprezentovať rôzne.

## 4 Reprezentačná úroveň

Každá kategória je reprezentovaná funkciou príslušnosti, ktorá vyjadruje, do akej miery je jej vstup inštanciou reprezentovanej kategórie. Kategórie môžu reprezentovať jednotlivé objekty, triedy a vlastnosti objektov, zmeny v čase, alebo ich komplexné kombinácie.

### 4.1 Kritériá objektov

Kritériá objektov operujú na jednotlivých rámcoch. Kritérium reprezentujúce objektový koncept dostane ako vstupný argument rámeč a vráti hodnotu z uzavretého intervalu  $[0, 1]$  vyjadrujúcu, do akej miery je rámeč inštanciou reprezentovaného konceptu (1 znamená najlepší príklad - prototyp). Objektové kritériá môžu reprezentovať indivíduá, ak vracajú 1 pre jeden konkrétny rámeč a pre všetky ostatné nulu, napr. *JozkoMrkvicka(f)*, vlastnosti objektov, napr. *zenaty(f)*, *velky(f)* alebo *doveryhodny(f)*, a triedy objektov, napr. *student(f)*, *ovocie(f)*, *pocitac(f)*.<sup>3</sup> Z formálneho hľadiska nie je medzi kritériami vlastností a tried žiadny rozdiel.

Kritérium obsahuje hodnoty atribútov požadované vo vstupnom rámci a váhy vyjadrujúce dôležitosť jednotlivých atribútov pre príslušnosť ku kategórii. Formálne je rozlišovacie kritérium  $r$  charakterizované množinou atribútov  $A_r$ , selektorom atribútov  $h_r : A_r \rightarrow \mathbf{R}$ , a selektorom váh  $w_r : A_r \rightarrow \mathbf{R}$ . Namiesto  $h_r(a)$  a  $w_r(a)$  budeme používať notáciu  $r.a$  a  $w_{r.a}$ .

Výsledok vrátený kritériálnou funkciou je nepriamo úmerný váhovanej sume štvorcov rozdielov medzi očakávanými hodnotami atribútov a hodnotami atribútov vstupného rámca:

$$r(f) = e^{-k \cdot \text{dist}(r, f)} \quad (1)$$

<sup>3</sup>Použité identifikátory rozlišovacích kritérií majú čitateľovi napovedať, aký koncept je reprezentovaný kritériom, nejedná sa však o zápis jazykového výrazu. Jazykové výrazy (časť 6) budeme v texte od označenia rozlišovacích kritérií odlišovať typom písma, úvodzovkami a diakritikou, napr. „velký“ je slovo (a jeho významom môže byť rozlišovacie kritérium *velky*).

kde

$$\text{dist}(r, f) = \sqrt{\frac{1}{|A_r|} \sum_{a \in A_r} w_{r.a} \cdot (r.a - f.a)^2} \quad (2)$$

je váhovaná euklidovská vzdialenosť a  $k$  je kladná konštanta (pozri v nasledujúcej časti).

Keďže funkcia vzdialenosti *dist* závisí iba od rozdielov v atribútoch obsiahnutých v kritériu, vstupný rámeč môže mať ľubovoľne veľa iných atribútov, ktoré nijako neovplyvňujú výsledok kritéria. Iná situácia nastane, ak vstupný rámeč nemá niektorý z atribútov obsiahnutých v kritériu. Vtedy môže funkcia vzdialenosti vrátiť nekonečnú hodnotu (výsledkom kritéria bude 0) alebo konečnú hodnotu priamo úmernú váhe chýbajúceho atribútu (keďže atribúty s malými váhami nie sú rozhodujúce pre príslušnosť ku kategórii).

### 4.2 Indukcia objektových kritérií

Agent v priebehu času vníma zmiešanú sekvenciu inštancií rôznych konceptov. Dokonca jeden perceptuálny rámeč môže byť dobrou inštanciou viacerých konceptov, napr. jedno konkrétne jablko môže byť príkladom konceptov *cervenny*, *okruhly*, *maly*, *jablko*. Problém určenia, ktorý percept je inštanciou ktorého konceptu, analyzujeme v časti 5. Zatiaľ budeme predpokladať, že agent dostane sekvenciu inštancií  $\{f_1, f_2, \dots, f_n\}$  toho istého konceptu a má z nej indukciu odvodiť jeho rozlišovacie kritérium. Indukcia je založená na extrakcii spoločných vlastností rámcov vo vzorke.<sup>4</sup> Atribúty, ktoré majú veľmi podobnú hodnotu vo všetkých inštanciách, budú považované za podstatnejšie pre príslušnosť ku kategórii, ako atribúty s veľkým rozptylom. Atribúty, ktoré nie sú prítomné v každej inštancii, sa neprenesú do kritéria.

Množina povinných atribútov kritéria je tvorená prienikom množín atribútov jednotlivých inštancií:

$$A_r = \bigcap_{i=1}^n A_{f_i},$$

hodnotou každého povinného atribútu je aritmetický priemer hodnôt tohto atribútu v inštanciách:

$$\forall a \in A_r : r.a = \overline{\langle f_i.a \rangle_{i=1}^n}$$

a váha každého povinného atribútu je nepriamo úmerná rozptylu hodnôt tohto atribútu v inštanciách:

<sup>4</sup>Tento prístup nefunguje pre disjunktívne koncepty (napr. koncept *slon alebo zápalková škatulka*).

$$\forall a \in A_r : w_{r.a} = \frac{1}{var_{r.a}} = \frac{1}{\sigma^2 \langle f_i.a \rangle_{i=1}^n} . \quad (3)$$

V kritériu sa tiež zaznamenáva počet doteraz vidných inštancií  $n$ .

Teraz môžeme prepísať rovnicu (2) ako:

$$dist(r, f) = \sqrt{\frac{1}{|A_r|} \sum_{a \in A_r} \frac{(r.a - f.a)^2}{var_{r.a}}} . \quad (4)$$

Funkcia vzdialenosti definovaná týmto spôsobom vyjadruje priemerný rozdiel hodnôt atribútov perceptu od priemerných hodnôt zaznamenaných v kritériu v jednotkách smerodajnej odchýlky (napr. ak sa perceptuálny rámec líši v každom atribúte  $a$  od priemeru o  $m \cdot \sigma_a$ , funkcia vzdialenosti vráti  $m$ ). Ak ďalej zadefinujeme v rovnici (1) konštantu  $k = -\frac{1}{2} \ln(0.5)$ , kritériálna funkcia vráti 1 pre nulovú vzdialenosť, 0.5 pre vzdialenosť  $2\sigma$ , čo môžeme stanoviť ako rozhodovací prah, či je percept inštanciou kategórie alebo nie. Pre inštalácie s priemernou vzdialenosťou  $\sigma$  bude takto definovaná kritériálna funkcia vracaať hodnotu približne 0.7.

Táto reprezentácia pripomína konceptuálne priestory [7], pričom atribúty kritérií zodpovedajú dimenziám konceptuálneho priestoru a kritériálna funkcia vyjadruje podobnosť perceptu a prototypu kategórie.<sup>5</sup> Dimenzie zodpovedajúce atribútom s malým rozptylom sú „natiahnuté“, teda majú väčšiu rozhodovaciu váhu pre príslušnosť ku kategórii.

Keďže príklady kategórie prichádzajú postupne, priemery a rozptyly atribútov kritéria sa počítajú iteratívnymi vzorcami:

1. Ak  $f$  je prvým príkladom nového kritéria ( $n = 1$ ), vytvor nové kritérium  $r$  v  $f$ :

$$A_r = A_f , \quad \forall a \in A_r : r.a = f.a \wedge var_{r.a} = 0 .$$

2. Ak  $f$  je  $n$ -tým príkladom existujúceho kritéria ( $n > 1$ ), aktualizuj  $r$  pomocou  $f$ :

$$\begin{aligned} A_r^{\text{new}} &= A_r \cap A_f \\ \forall a \in A_r : r.a^{\text{new}} &= \left(1 - \frac{1}{n}\right) r.a + \frac{1}{n} f.a \end{aligned}$$

<sup>5</sup>Keďže kritérium (priemernými hodnotami implicitne reprezentujúce prototyp) nemusí mať všetky atribúty vstupného perceptu, vzdialenosť sa určuje v projekcii konceptuálneho priestoru na podpriestor s dimenziami  $A_r$  (napr. v podpriestore s jedinou dimenziou *velkosť* v prípade kritéria *velky*).

$$\begin{aligned} \forall a \in A_r : var_{r.a}^{\text{new}} &= \left(1 - \frac{1}{n}\right) var_{r.a} + \\ &+ \frac{1}{n-1} (f.a - r.a^{\text{new}})^2 . \end{aligned}$$

Z rovnice (3) vyplýva, že atribúty s nulovým rozptylom v celej vzorke majú nekonečnú váhu. Ak definujeme  $\infty \cdot 0 = 0$ , hodnoty atribútov s nulovým rozptylom budú povinné pre príslušnosť v kategórii (akákoľvek iná hodnota atribútu vo vstupnom rámci dá nulový výsledok kritériálnej funkcie). To vedie k neplauzibilnému správaniu pre kategórie odvodené z jediného (prvého) príkladu. Keďže po predložení prvého príkladu sú rozptyly všetkých atribútov v novovytvorenom kritériu zatiaľ nulové, takéto kritérium vracia hodnotu 1 pre percepty úplne identické s prvým príkladom, zatiaľ čo pre všetky iné vráti nulu, bez ohľadu na to, ako sú blízko k prvému príkladu. Ak by však v kritériu ostali rozptyly všetkých atribútov nulové aj po zhladnutí mnohých príkladov, je oprávnené z toho odvodit, že kritérium reprezentuje individuuum. Tento problém prekonáme tým, že rozptyl  $var_{r.a}$  v rovniciach (3) a (4) nahradíme odhadovaným rozptylom  $evar_{r.a} = var_{r.a} + v_0/n^s$ , kde  $v_0$  je počiatočný odhad a  $s$  je rýchlosť konvergencie ku skutočnému rozptylu  $var_{r.a}$ .

Používanie kritérií s rozptylmi má niektoré zaujímavé a kognitívne plauzibilné dôsledky:

1. Kritériá môžu reprezentovať kategórie s rôznou úrovňou všeobecnosti, od individuí až po všeobecné koncepty s veľkými rozptylmi.
2. Kritériá s veľkými rozptylmi vo všetkých atribútoch okrem jedného môžu reprezentovať sémantiku adjektív.
3. Podobnosť medzi kategóriami je asymetrická – typický príklad jednej kategórie môže byť lepšou inštanciou druhej kategórie, ako naopak.<sup>6</sup>

### 4.3 Kritériá vzťahov

Kritériá vzťahov (relačné kritériá) reprezentujú binárne<sup>7</sup> relácie medzi objektami, napr. *vacsiaAko*( $f_x, f_y$ ) alebo *blizko*( $f_x, f_y$ ). V tomto

<sup>6</sup>Ludia tiež posudzujú podobnosti asymetricky, napr. tvrdia, že Tel Aviv sa podobá na New York viac, ako sa podobá New York na Tel Aviv [24].

<sup>7</sup>Vzťahy medzi viac ako dvoma objektami sa reprezentujú kritériami situácií (pozri časť 4.7).

článku sa budeme zaoberať iba „súvzťažnými“ kritériami založenými na rozdieloch hodnôt toho istého atribútu prítomného v oboch rámcoch ( $\Delta f_{x,y}.a = f_x.a - f_y.a$ ).<sup>8</sup>

Rovnako ako objektové kritériá, aj relačné kritériá sú charakterizované množinou atribútov  $A_r$  a selektormi  $h_r$  a  $w_r$ . Kritériálna funkcia je definovaná vzťahmi

$$r(f_x, f_y) = e^{-k \cdot \text{dist}(r, f_x, f_y)} \quad (5)$$

$$\text{dist}(r, f_x, f_y) = \sqrt{\frac{1}{|A_r|} \sum_{a \in A_r} w_{r,a} \cdot (r.a - \Delta f_{x,y}.a)^2}. \quad (6)$$

Kritériálna funkcia nie je vo všeobecnosti symetrická, t.j. existujú kritériá  $r$  a rámce  $f_x, f_y$  také, že  $r(f_x, f_y) \neq r(f_y, f_x)$ .

#### 4.4 Indukcia vzťahových kritérií

Zo vzorky – postupnosti dvojíc  $\{(f_{x1}, f_{y1}), (f_{x2}, f_{y2}), \dots, (f_{xn}, f_{yn})\}$  sa indukciou odvodí relačné kritérium  $r$  také, že

$$\begin{aligned} A_r &= \bigcap_{i=1}^n (A_{f_{xi}} \cap A_{f_{yi}}) \\ \forall a \in A_r : r.a &= \frac{\langle \Delta f_{xi,yi}.a \rangle_{i=1}^n}{\text{var}_{r,a}} \\ \forall a \in A_r : w_{r,a} &= \frac{1}{\text{var}_{r,a}} = \frac{1}{\sigma^2 \langle \Delta f_{xi,yi}.a \rangle_{i=1}^n}. \end{aligned}$$

Rovnako ako u objektových kritérií, relačné kritériá sa počítajú iteratívnymi formulami a rozptyly sú nahradené odhadovanými rozptylmi (pozri časť 4.2).

#### 4.5 Kvalitatívne vzťahy

Relačné kritériá, ktoré sme opísali vyššie, sú vhodné na reprezentovanie vzťahov založených na magnitúde rozdielov (napr. *blízko*, *omnoho* *Viac*, *takmer* *Rovnaký*), avšak nemôžu zachytiť kvalitatívne vzťahy [14] založené iba na znamienku alebo ordinálnom vzťahu (usporiadaní) hodnôt atribútov, napr. *vacsi*( $f_x, f_y$ ), kde  $f_x.\text{velkost} > f_y.\text{velkost}$ , alebo *vlavo* *Od*( $f_x, f_y$ ), kde  $f_x.\text{posX} < f_y.\text{posX}$ .

Kvalitatívna verzia relačných kritérií je citlivá na znamienkovú štruktúru rozdielov atribútov  $\text{sgn}(\Delta f_{x,y}.a)$ . Znamienko rozdielu hodnôt atribútu,

<sup>8</sup>Kritériá by vo všeobecnosti mohli byť citlivé aj na medziatribútové vzťahy vstupných rámcov, t.j. rozdiely  $f_x.a_1 - f_y.a_2$ , kde  $a_1 \neq a_2$ .

ktoré je rovnaké v celej vzorke, sa stáva povinným pre príslušnosť ku kategórii. Atribúty, ktoré nie sú prítomné v každej dvojici príkladov, alebo nemajú rovnaké znamienko v celej vzorke, sa z kritéria vylúčia. Kritériá sa počítajú iteratívnymi vzorcami:

1. Ak  $(f_x, f_y)$  je prvý príklad nového relačného kritéria ( $n = 1$ ),

$$A_r = A_{f_x} \cap A_{f_y}, \quad \forall a \in A_r : r.a = \text{sgn}(\Delta f_{x,y}.a).$$

2. Ak  $(f_x, f_y)$  je  $n$ -tý príklad existujúceho relačného kritéria ( $n > 1$ ),

$$A_r^{\text{new}} = \{a \in A_r \cap A_{f_x} \cap A_{f_y} \mid \text{sgn}(\Delta f_{x,y}.a) = r.a\}.$$

Znamienka rozdielov hodnôt atribútov sa zaznamenajú iba raz – pri predložení prvého príkladu. Pri predložení ďalších príkladov sa kritérium aktualizuje tak, že sa z  $A_r$  vyhodí atribúty, ktoré sa nevyskytujú v novom príklade s rovnakými znamienkami ako sú zaznamenané v kritériu.

Keďže znamienková štruktúra zaznamenaná v kritériu je povinná pre príslušnosť ku kategórii, kritérium vracia binárny výsledok:

$$r(f_x, f_y) = \begin{cases} 1 & \text{ak } \forall a \in A_r : \text{sgn}(\Delta f_{x,y}.a) = r.a \\ 0 & \text{inak} \end{cases}.$$

Rovnaký výsledok vráti aj funkcia počítaná vzťahom (5), ak upravíme (6):

$$\text{dist}(r, f_x, f_y) = \sqrt{\frac{1}{|A_r|} \sum_{a \in A_r} w_{r,a} \cdot \delta(r.a, \text{sgn}(\Delta f_{x,y}.a))^2}$$

kde všetky váhy  $w_{r,a}$  sú nekonečné (rozptyl hodnôt znamienka je nulový) a  $\delta(s_1, s_2)$  je 0, ak  $s_1 = s_2$ , inak 1.

#### 4.6 Kritériá zmeny

Pre agenty operujúce v dynamických prostrediach je veľmi dôležitá schopnosť vnímať a reprezentovať zmeny. V spojitosti sa meniacom svete dokážu už štvormesačné deti sledovať objekty pohľadom a osvojiť si princíp *kontinuity objektov* [12], ktorý je nutnou podmienkou pre vnímanie zmien vlastností objektov.

Keďže v našom modeli sa čas mení v diskrétnych krokoch, musíme zabezpečiť, že agent nevníma scény v jednotlivých krokoch ako nezávislé, ale ako množiny s korešpondenciami medzi percepčnými rámcami toho istého objektu v rôznych

časoch. Z tohto dôvodu *scénu* – perceptuálny vstup agenta v čase  $t$  (pozri časť 3) predefinujeme ako

$$S_t = \left\{ \left( f_1^{(t)}, f_1^{(t-1)} \right), \left( f_2^{(t)}, f_2^{(t-1)} \right), \dots, \left( f_n^{(t)}, f_n^{(t-1)} \right) \right\}$$

množinu dvojíc perceptov a ich podôb v predchádzajúcom časovom kroku. Ak sa objekt objavil na scéne až v kroku  $t$ , jeho percept  $f^{(t-1)}$  bude mať špeciálnu hodnotu  $\perp$ . Ak bol objekt na scéne v kroku  $t-1$  a teraz zmizol,  $f^{(t)} = \perp$ .<sup>9</sup> Inak sú  $f^{(t-1)}$  a  $f^{(t)}$  štandardné rámce, ako boli definované v časti 3 (scéna nikdy neobsahuje dvojice, ktoré by mali  $\perp$  na oboch pozíciách).

Kritériá zmeny sú relačné kritériá aplikované na rámce  $f^{(t)}, f^{(t-1)}$  toho istého objektu. Aj keď mnohé slovesá vyjadrujú skôr kvalitatívne zmeny (smer zmeny atribútov), môžu obsahovať aj predpoklady o typických veľkostiach zmien, napr. kritériá pohybu *plaziSa*, *hybeSa*, *skace* sa môžu líšiť v priemerných hodnotách  $\Delta f_{t,t-1} \cdot \text{pozicia}$ .<sup>10</sup> Iné zmeny sa dajú zachytiť čisto kvalitatívnymi reláciami, napr. *narastol* môže byť reprezentované ako  $\text{sgn}(\Delta f_{t,t-1} \cdot \text{velkost}) = 1$ . Kritériá s nulovým znamenkom zmeny niektorých atribútov môžu reprezentovať stav, resp. trvanie vlastnosti, napr. *stoji*.

## 4.7 Kritériá situácií

Definovali sme elementárne kritériá objektov a vlastností, vzťahov a zmien. Kritériá reprezentujúce komplexnejšie vzťahy a situácie alebo vlastnosti celej scény, napr. koncepty ako *rizikovaInvesticia* alebo *mackaNaHorucejPlechovejStreche*, sa dajú vybudovať kompozíciou elementárnych kritérií opisujúcich objekty, ktoré majú byť prítomné na scéne a ich požadované vzájomné vzťahy. Kompozičné kritérium môže predpísať hodnoty, ktoré majú vracieť jednotlivé elementárne kritériá, a priradiť im váhy určujúce ich dôležitosť pre celkový výsledok.

Budeme hovoriť, že kritérium situácie má aritu  $k$ , ak opisuje vlastnosti a vzťahy medzi  $k$  objektami.<sup>11</sup> Formálne budeme kritérium situácie  $s$  arity

<sup>9</sup>Na detekovaní  $\perp$  na príslušnej pozícii vstupného páru sú založené špeciálne kritériá zmeny *objavilSa* a *zmizol*.

<sup>10</sup>Skutočná sémantika pohybových slovíec je omnoho zložitejšia a zahŕňa spôsob pohybu a ďalšie aspekty.

<sup>11</sup>Situačné kritériá majú v skutočnosti iba jeden vstupný argument – celú vstupnú scénu  $S_t$ . Kritériálna funkcia sa vyhodnocuje pre všetky usporiadané  $k$ -prvkové podmnožiny  $S_t$  a vráti maximum z výsledkov pre podmnožiny.

$k$  charakterizovať množinou elementárnych<sup>12</sup> kritérií  $C_s$ , selektorom hodnôt  $h_s : C_s \rightarrow [0, 1]$ , selektorom váh  $w_s : C_s \rightarrow \mathbf{R}$  a deskriptorom argumentov  $d_s : C_s \rightarrow \{1, \dots, k\} \times \{1, \dots, k\}$ . Pre kritérium  $r \in C_s$  je  $h_s(r)$  predpísanou hodnotou, ktorú má  $r$  vracieť, a deskriptor argumentov  $d_s(r)$  determinuje indexy rámcov vo vstupnej  $k$ -tici

$$K = \left\langle \left( f_1^{(t)}, f_1^{(t-1)} \right), \left( f_2^{(t)}, f_2^{(t-1)} \right), \dots, \left( f_k^{(t)}, f_k^{(t-1)} \right) \right\rangle,$$

na ktoré sa má  $r$  aplikovať. Namiesto  $h_s(r)$  a  $w_s(r)$  budeme v ďalšom texte písať  $s.r$  a  $w_{s,r}$ .

Výsledok projekcie z  $k$ -tice  $K$  na konkrétne rámce s indexami určenými  $d_s(r)$  a typom<sup>13</sup> kritéria  $r$  označíme  $\phi(K, d_s(r), r)$ . Funkciu vzdialenosti pre situačné kritérium  $s$  definujeme ako

$$\text{dist}(s, K) = \sqrt{\frac{1}{|C_s|} \sum_{r \in C_s} w_{s,r} \cdot (s.r - r(\phi(K, d_s(r), r)))^2}.$$

Podobne ako pri iných typoch kritérií,  $s.r$  môže vyjadrovať priemer hodnôt vrátených kritériom  $r$  na vstupnej vzorke a váha  $w_{s,r}$  môže byť nepriamo úmerná rozptylu  $\text{var}_{s,r}$ . Detaily indukcie<sup>14</sup> kritérií situácií však treba ešte dopracovať a sú témou nášho terajšieho výskumu.

## 5 Osvojovanie si kritérií

V predošlom texte sme opisali, ako môže agent odvodiť rozlišovacie kritérium konceptu indukciou z množiny jeho príkladov. V skutočnosti však agent vníma zmes rámcov, ktoré sú príkladmi rôznych konceptov a musí nejakým spôsobom určiť, ktoré z existujúcich kritérií má pomocou perceptu aktualizovať (alebo či má vytvoriť nové kritérium).

Najjednoduchšia procedúra učenia bez učiteľa pracuje takto:

1. Pre vstupný perceptuálny rámec<sup>15</sup>  $f$  a množinu kritérií  $C$ , nájdí  $r^* \in C$  také, že  $\forall r \in C$  :  $r^*(f) \geq r(f)$ .

<sup>12</sup>Ak povolíme v množine  $C_s$  popri elementárnych kritériách aj kritériá situácií, môžeme budovať hierarchické kompozície ľubovoľnej hĺbky.

<sup>13</sup>Typ kritéria je dôležitý, napr.  $\phi(K, (i, i), r) = f_i^{(t)}$ , ak  $r$  je objektové kritérium, ale ak  $r$  je kritérium zmeny,  $\phi(K, (i, i), r) = \left( f_i^{(t)}, f_i^{(t-1)} \right)$ .

<sup>14</sup>Na naučenie kritérií zložitejších situácií indukcia nemusí stačiť, budúci výskum by mal rozšíriť model o mechanizmy analýzy, dekompozície a pod.

<sup>15</sup>Pre dvojice vstupných rámcov a celé scény je formulácia analógická.

2. Ak  $r^*(f) > \theta$ , aktualizuj  $r^*$  pomocou  $f$ , inak vytvor nové kritérium  $r^{\text{new}}$  na základe prvého príkladu  $f$  (parameter  $\theta$  je prah rozhodovania).

Tento algoritmus klasterizuje vstupné rámce na základe distribúcie hodnôt atribútov a môže agentom slúžiť na získanie základného rozlišovania potrebného na orientáciu v prostredí.

Environmentálne relevantnejší algoritmus by mal zoskupovať percepty na základe nejakých pragmatických kritérií (napr. rozlišovať medzi dvoma typmi húb, z ktorých jedna je jedlá a druhá jedovatá, hoci sú na vzhľad veľmi podobné). V [21] sme opisali model agenta aktívne interagujúceho s objektami v prostredí, ktorý zoskupoval percepty objektov do kategórií na základe ich *afordancií* [9], napr. vytvoril kategóriu objektov príliš ťažkých na to, aby sa dali zdvihnúť.<sup>16</sup>

Slová pomenávajúce rôzne aspekty objektov a ich vzťahov sa často líšia jemnými významovými odieňmi, ktoré sa najlepšie osvojujú na základe jazykovej inštrukcie. V tomto článku sa zameriame na formovanie významu pojmov pomocou jazyka. Agenti – nováčikovia môžu inštruovať ostatné agenty, ktoré zdieľajú spoločný jazyk, alebo aj človek, v prípade aplikácií s rozhraním človek–počítač.

Kategórie osvojené podľa inštrukcií v prirodzenom jazyku sú kultúrne podmienené – známym príkladom je existencia rôznych kategorizácií farieb vo svetových jazykoch [2]. Samotný model však nemá zabudované žiadne kultúrne špecifické predpoklady a môže si rovnako dobre osvojovať kategórie z inštrukcií v umelom jazyku.<sup>17</sup> Proces formovania kritérií je takto spriahnutý s procesom osvojovania jazyka a my budeme skúmať ich vzájomnú interakciu.

## 6 Jazyková úroveň

Agent dostane v každom časovom kroku na vstupe scénu a spolu s ňou jazykový výraz opisujúci niektoré jej aspekty a tiež tzv. *fokus*. Fokus je ne-

<sup>16</sup>V implementovanom experimente scéna obsahovala rámce (simulovaného) nábytku, ovocia a hračiek. Agent sa pokúšal objekty zdvíhať alebo položiť a pozoroval zmeny, ktoré to prinieslo. Objekty tvorili jednu kategóriu, ak vykonanie niektorej akcie s nimi viedlo k rovnakému výsledku.

<sup>17</sup>Jediným zabudovaným predpokladom je konvexnosť kategórií, t.j. rámec zkonštruovaný ako priemer z dvoch dobrých príkladov nejakej kategórie by mal tiež byť dobrým príkladom tej istej kategórie (pozri aj poznámku 4).

verbálna referencia upriamujúca pozornosť agenta na aspekty scény pomenované jazykovým výrazom. Pri osvojení jazyka u detí zodpovedá ukazovaniu, sledovaniu pohľadu, či zdieľanej pozornosti dieťaťa s matkou [23]; v neskoršej fáze, keď už agent rozumie niektorým slovám, kontext referencie môže byť zúžený na základe známych častí výrazu, napr. výraz „veľký X“ môže zúžiť kontext pre X na veľké objekty na scéne. Formálne je fokus  $\phi$  projekciou scény

$$S_t = \left\{ \left( f_1^{(t)}, f_1^{(t-1)} \right), \left( f_2^{(t)}, f_2^{(t-1)} \right), \dots, \left( f_n^{(t)}, f_n^{(t-1)} \right) \right\}$$

a má podobu  $\phi_i$  alebo  $\phi_{i,j}$ , kde

$$\phi_i(S_t) = \begin{cases} f_i^{(t)} & \text{ak } 1 \leq i \leq n \\ \left( f_{-i}^{(t)}, f_{-i}^{(t-1)} \right) & \text{if } -n \leq i \leq -1 \\ \emptyset & \text{inak,} \end{cases}$$

$$\phi_{i,j}(S_t) = \begin{cases} \left( f_i^{(t)}, f_j^{(t)} \right) & \text{ak } 1 \leq i, j \leq n \\ \emptyset & \text{inak.} \end{cases}$$

Záporné indexy vo fokusoch odkazujú na vzťahy k predchádzajúcim časovým krokom. Definíciu fokusu ako projekcie na jednotlivé prvky a dvojice možno priamočiaro rozšíriť na projekciu na akúkoľvek usporiadanú podmnožinu scény. Výsledok projekčívnej funkcie budeme nazývať *referent* fokusu.

### 6.1 Spriahnuté osvojovanie jazyka a konceptov

V najjednoduchšej učiacej situácii agent vníma scénu  $S_t$ , jednoslovný jazykový výraz  $w$  a fokus  $\phi$ . Agentove jazykové znalosti sú ukladané vo forme tabuľky asociácií *slov* (postupností písmen) a ich *významov*. Významom slova je rozlišovacie kritérium odvodené indukciou zo všetkých kontextov (referentov), s ktorými bolo slovo použité.<sup>18</sup>

Hoci prirodzené jazyky obsahujú slová s viacerými významami (homonymá) a viaceré slová s rovnakým významom (synonymá), v prípade spriahnutej akvizície jazyka a konceptov bude veľmi užitočné začať bez synonymie a homonymie.<sup>19</sup> V sku-

<sup>18</sup>Referentami môžu byť aj dvojice rámcov, napr. referenty významov pre výrazy „vlavoOd“, „väčšíAko“, „poholSaHore“, alebo aj celé situácie. (Keďže v našom modeli nemáme žiadnu gramatiku, viacslovné frázy odkazujúce k jednému významu treba nejako „uzátvorkovať“, preto ich budeme písať ako jedno slovo.)

<sup>19</sup>Deti osvojujúce si jazyk používajú rovnaký predpoklad *vzájomnej výlučnosti* pomenovaní, teda predpoklad, že nové slová nemôžu označovať objekty, ktoré už majú nejaké iné meno [17].

točnosti práve toto sú hlavné princípy, na ktorých je v našom modeli založené osvojovanie:

1. *Žiadna pravá homonymia*. Každé slovo má iba jeden význam, aj keď je použité s viacerými referentami (vtedy sa referenty pokladajú za inštancie/priklady tej istej kategórie).<sup>20</sup> V praxi sa tento princíp využíva tak, že ak agent už pozná nejaký význam slova  $w$  (má s ním asociované kritérium  $r$ ) a teraz je slovo  $w$  použité s novým referentom  $\phi(S_t)$ ,  $r$  je aktualizované pomocou  $\phi(S_t)$  (namiesto vytvorenia nového kritéria).
2. *Žiadna pravá synonymia*. Rôzne slová majú rôzny význam, aj keď zdieľajú ten istý referent (v tom prípade označujú rôzne aspekty referentu). V praxi sa tento princíp využíva tak, že ak agent počuje neznáme slovo  $w$  v kontexte referentu  $\phi(S_t)$ , vytvorí sa nové kritérium  $r$  na základe prvého príkladu  $\phi(S_t)$  a v lexikóne sa asocjuje so slovom  $w$ .

### Príklad

Uvažujme agenta, ktorý žije vo svete geometrických tvarov na mriežke  $50 \times 50$  so súradnicami  $(1, 1)$  v ľavom dolnom a  $(50, 50)$  v pravom hornom rohu. Ak agent vníma percept

```
f = { vertices: 3; size: 18; color: 3;
      posX: 1; posY: 23 }
```

označený slovami „*vľavo*“, „*veľký*“, „*trojuholník*“, vytvorí si tri rozlišovacie kritériá, ktoré sú na začiatku identické a reprezentujú „fotku“ percipovaného objektu  $f$ . Postupom času agent počuje tieto slová s ďalšími objektami a kritériá sa začínajú diferencovať. Napr. počiatočná „fotka“ asociovaná so slovom „*trojuholník*“ sa aktualizuje pomocou perceptuálnych rámcov rôznych objektov najrôznejších farieb, pozícií, veľkostí a iných vlastností. Rámce všetkých objektov však budú mať spoločné to, že majú tri vrcholy. Atribúty, ktoré sa nevyskytujú v každom príklade sa z kritéria vylúčia, iné s veľkým rozptylom budú mať malú váhu. Rozhodujúcou (a nutnou) pre príslušnosť v kategórii asociovannej so slovom „*trojuholník*“ sa stane vlastnosť mať tri vrcholy (keďže počet vrcholov má vo vzorke priemernú hodnotu 3 a rozptyl nula). Takisto slovo

<sup>20</sup> Ak bolo slovo použité v zjavne úplne odlišných kontextoch (napr. referenty nemajú nič spoločné), agent by mohol detekovať homonymiu a asociovať so slovom viaceré kritériá, toto však v našom modeli nie je implementované.

„*vľavo*“ bude agent počuť v kontexte najrôznejších objektov, ktoré všetky budú mať veľmi malú hodnotu atribútu  $posX$  atď. Čím viac je rôznych kontextov použitia slova, tým väčšia je pravdepodobnosť, že referenty sa budú líšiť v hodnotách atribútov nepodstatných pre význam slova. Avšak keby boli napr. všetky trojuholníky v agentovom svete veľké, vlastnosť byť veľkým by sa stala súčasťou významu slova „*trojuholník*“.

### 6.2 Viacslovné výrazy

Princípy používané pri osvojovaní si významov jednotlivých slov sa dajú aplikovať aj na viacslovné menné frázy: predpokladá sa, že každé slovo vo fráze označuje iný aspekt referenta. V modeloch akvizície bez gramatiky je poradie slov vo fráze nepodstatné a indukcia významov z frázy „*veľký trojuholník vľavo*“ (alebo jej ľubovoľnej permutácie) má rovnaký efekt ako tri postupné indukcie z jednotlivých slov tak, ako bolo opísané v príklade v predchádzajúcej časti.

Avšak v skutočných gramatických jazykoch môže rôzne poradie slov dávať celej fráze rôzne významy.<sup>21</sup> Takisto význam adjektív v mennej fráze môže byť kontextovo závislý od významu podstatného mena, napr. slovo „*malý*“ označuje rôzne veľkosti vo frázach „*malý zajac*“ a „*malý slon*“. Proces osvojovania, tak ako sme ho opísali vyššie, by jednoducho aktualizoval kritérium asociované so slovom „*malý*“ pomocou perceptov slona a zajaca, čím by sme dostali kritérium s priemernou veľkosťou medzi zajacom a slonom a veľmi veľkým rozptylom. Rozumnejšie by bolo vytvoriť pre každý menný kontext iné kritérium pre „*malý*“ a aktualizovať každé zvlášť, to by si však už od agenta vyžadovalo istú znalosť gramatickej štruktúry osvojovaného jazyka (na rozlíšenie, ktorá časť mennej frázy je podstatné meno a ktoré sú rozvíjajúce adjektíva).

Bez znalosti pravidiel gramatickej kompozície agent nemôže pochopiť ani význam fráz ako „*mačka na horúcej plechovej streche*“, aj keby si jednotlivito osvojil správne významy slov „*mačka*“, „*na*“, „*horúca*“, „*plechová*“, „*strecha*“.<sup>22</sup>

<sup>21</sup> Deti pri osvojovaní jazyka využívajú nielen poradie slov, ale aj ďalšie gramatické informácie na obmedzenie možných významov neznámych častí frázy (teória syntaktického bootstrappingu [16]). Obohatenie nášho modelu o citlivosť na gramatickú štruktúru je dôležitou témou pre budúci výskum.

<sup>22</sup> V slovenčine sú ďalšou komplikáciou, od ktorej abstra-



## 7 Pragmatická úroveň

Ako môže agent integrovať doteraz opísané vrstvy? Ako bude používať naučené kritériá a osvojené jazykové výrazy? To závisí od konkrétnej aplikácie, môžeme však definovať niekoľko všeobecných funkcií, ktoré sú užitočné pre komunikáciu s ostatnými agentami.

Predpokladajme, že agent si osvojil lexikón (jednoduchoznačných) asociácií  $\mathcal{L} \subset W \times C$ , kde  $W$  je množina naučených slov a  $C$  je množina odvodených kategórií. Nech  $S$  je scéna a  $\phi$  je fokus. Potom definujeme nasledujúce funkcie:

**Porozumenie.** Funkcia  $U : W \rightarrow C$  vráti kritérium  $r$ , ktoré je významom slova  $w$ . Pre  $w \in W$ ,

$$U(w) = r \text{ také, že } (w, r) \in \mathcal{L} .$$

**Vyjadrenie.** Funkcia  $E : C \rightarrow W$  vyjadruje kritérium  $r$  slovom  $w$ . Pre  $r \in C$ ,

$$E(r) = w \text{ také, že } (w, r) \in \mathcal{L} .$$

**Interpretácia.** Funkcia  $I$  vráti množinu kategórií, ktorých inštanciou je referent, pričom požadovaný stupeň príslušnosti ku kategórii je určený prahom  $\theta$ . Pre referent  $\phi(S)$ ,

$$I_\theta(\phi(S)) = \{r \in C \mid r(\phi(S)) > \theta\} .$$

**Pomenovanie.** Funkcia  $N$  je kompozíciou  $I \circ E$  a vráti pomenovania všetkých kategórií, ktorých je referent inštanciou. Pre referent  $\phi(S)$ ,

$$N_\theta(\phi(S)) = \{w = E(r) \mid r \in I_\theta(\phi(S))\} .$$

**Referencia.** Funkcia  $R$  vráti množinu fokusov determinujúcich referenty významu  $r$  aktuálne prítomné na scéne  $S$ . Striktnosť príslušnosti ku kategórii je opäť daná parametrom prahu  $\theta$ . Pre význam  $r \in C$  a scénu  $S$ ,

$$R_\theta(r, S) = \{\phi \mid r(\phi(S)) > \theta\} .$$

hujeme, rôzne gramatické tvary toho istého slova, napr. „horúca“ a „horúcej“. Avšak ani v angličtine, kde sú tvary rovnaké, na určenie významu frázy „cat on a hot tin roof“ nestačí poznať významy jednotlivých slov (bez znalosti ich vzťahov daných gramatikou by sme význam uvedenej frázy nevedeli odlíšiť napr. od významu fráz „hot tin cat on a roof“ alebo „tin roof on a hot cat“).

**Kontrastívna referencia.** Funkcia  $R^*$  vráti fokusy tých referentov na scéne, pre ktoré dáva kritérium  $r$  maximálnu hodnotu (bez ohľadu na prah). Pre význam  $r \in C$  a scénu  $S$ ,

$$R^*(r, S) = \{\phi^* \mid \forall \phi : r(\phi^*(S)) \geq r(\phi(S))\} .$$

**Pragmatické porozumenie.** Funkcia  $P$  je kompozíciou  $U \circ R$  a vráti množinu fokusov determinujúcich referenty významu slova  $w$  prítomné na scéne  $S$ .  $P^*$  je jej kontrastívna verzia. Pre slovo  $w \in W$ ,

$$\begin{aligned} P_\theta(w, S) &= R_\theta(U(w), S) \\ P^*(w, S) &= R^*(U(w), S) . \end{aligned}$$

Funkcia  $P^*$  slúži na porozumenie kontrastívnemu použitiu slov. Ak napr. agent počuje slovo „velký“ so scénou  $S$  obsahujúcou iba malé objekty, funkcia  $P_{0.5}(„velký“, S)$  vráti prázdnu množinu, ale  $P^*$  vráti objekty, na ktoré sa popis najlepšie hodí, teda najväčšie z malých objektov prítomných na scéne.

### 7.1 Ciele, akcie, kauzalita a plánovanie

Navrhnutú reprezentáciu môže agent používať aj interne na usudzovanie o svojich akciách a ich dopade na prostredie, napr. správanie agenta môže byť riadené pravidlami založenými na rozlišovacích kritériách.

Agent, ktorý je schopný aktívne meniť svoje prostredie, môže reprezentovať svoje kauzálne znalosti o akciách a ich dôsledkoch ako medzikategoriálne asociácie typu

$$(podmienky, akcia \rightarrow dosledky)$$

kde *podmienky* sú okolnosti reprezentované kritériami situácií, *akcie* objektovým (alebo situačným) kritériom reprezentujúcim typ a parametre vykonávanej akcie a *dosledky* kritériami zmien, ktoré má akcia spôsobiť. BDI<sup>23</sup> agent môže reprezentovať svoje ciele ako kritériá želaných situácií a plánovať sekvencie akcií, ktoré by mohli viesť z aktuálnej situácie do cieľovej.

## 8 Záver

Rozlišovacie kritériá poskytujú jednotný reprezentatívny formalizmus pre koncepty rôznych typov a

<sup>23</sup>belief – desire – intention [4]

ich osvojovanie. Proces formovania kritérií je ukotvený v percepcii a tesne spriahnutý s jazykom, čím sa navrhnutý formalizmus stáva dobrým kandidátom na kognitívnu sémantiku jazyka. Keďže kritériá sú citlivé na rozptyl atribútov v rámci kategórie, sú flexibilnejšou a efektívnejšou reprezentáciou ako čisté prototypy v konceptuálnom priestore, čo sme aj experimentálne ukázali v našom implementovanom modeli interakčného osvojovania kritérií [21].

Rozlišovacie kritériá sú reprezentované pomocou rámcových štruktúr, ktoré sú vhodnou úrovňou názornej abstrakcie umožňujúcej zároveň výpočtové operácie. Kognitívna plauzibilita v zmysle korešpondencie medzi rozlišovacími kritériami a neurálne stelesnenými perceptuálnymi symbolmi je zabezpečená tým, že použité rámcové štruktúry sú principiálne implementovateľné v duchu štruktúrovaného koncepcionizmu [5].

Ak by sme chceli pomocou formalizmu rozlišovacích kritérií reprezentovať sémantiku reálnych slovies, bolo by ho treba rozšíriť o štruktúry reprezentujúce perspektívu, spôsob, roly, aspekt a ďalšie parametre slovies. Indukčný proces v súčasnej podobe nie je robustný voči chybám a šumu (jeden nesprávny príklad môže nevratne ovplyvniť množinu atribútov kritéria), preto by ho bolo rozumné nahradiť stochastickou indukciou. V budúcnosti tiež treba dopracovať detaily kritérií situácií a ich indukciu a rozšíriť jazykovú úroveň o viacslovné frázy a nejakú formu gramatiky.

V každom prípade považujeme navrhnutú sémantiku za solídnu základňu pre kognitívne modely osvojovania jazyka, BDI architektúry a aplikácie v otvorených umelých prostrediach, akým je napr. world wide web.

## 9 PodĎakovania

Tento výskum bol financovaný z grantu č. APVV-20-P04805 Agentúry na podporu výskumu a vývoja a z grantu VEGA 1/3105/06.

## Literatúra

- [1] Lawrence W. Barsalou. Perceptual symbols systems. *Behavioral and brain sciences*, 22:577–660, 1999.
- [2] B. Berlin and P. Kay. *Basic Color Terms: Their Universality and Evolution*. University of California Press, Berkeley, CA, 1969.
- [3] P. Bloom. *How Children Learn the Meanings of Words*. MIT Press, Cambridge, MA, 2000.
- [4] M. Bratman. *Intention, Plans, and Practical Reason*. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1987.
- [5] J. Feldman. *From Molecule to Metaphor: A Neural Theory of Language*. MIT Press, Cambridge, MA, 2006.
- [6] J. Fodor. *Representations: Philosophical Essays on the Foundations of Cognitive Science*. MIT Press, Cambridge, MA, 1981.
- [7] P. Gärdenfors. *Conceptual Spaces*. MIT Press, Cambridge, MA, 2000.
- [8] W. Geuder and M. Weisgerber. Verbs in conceptual space. In G. Katz, S. Reinhard, and P. Reuter, editors, *Sinn und Bedeutung 6, Proceedings of the sixth meeting of the Gesellschaft für Semantik*, volume 1, Osnabrück, 2002. Publications of the Institute of Cognitive Science.
- [9] J. J. Gibson. *The Ecological Approach to Visual Perception*. Houghton Mifflin, Boston, 1979.
- [10] A. Gopnik, A. N. Meltzoff, and P. K. Kuhl. *The Scientist in the Crib: What Early Learning Tells Us About the Mind*. HarperCollins, New York, 2000.
- [11] S. Harnad. The symbol grounding problem. *Physica, D* 42:335–346, 1990.
- [12] S. P. Johnson, D. Amso, and J. A. Slemmer. Development of object concepts in infancy: Evidence for early learning in an eye tracking paradigm. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 100:10568–10573, 2003.
- [13] S. Kirby and J. Hurford. The emergence of linguistic structure: an overview of the iterated learning model. In D. Parisi and A. Cangelosi, editors, *Computational Approaches to the Evolution of Language and Communication*, Berlin, 2001. Springer-Verlag.

- [14] B. Kuipers. *Qualitative Reasoning: Modeling and Simulation with Incomplete Knowledge*. MIT Press, Cambridge, MA, 1994.
- [15] R. Langacker. *Concept, Image and Symbol: The Cognitive Basis of Grammar*. Mouton de Gruyter, 1991.
- [16] J. Lidz, H. Gleitman, and L. R. Gleitman. Kidz in the 'Hood: Syntactic bootstrapping and the mental lexicon. In D. G. Hall and S. R. Waxman, editors, *Weaving a Lexicon*, pages 603–636, Cambridge, MA, 2004. MIT Press.
- [17] E. Markman. Constraints on word learning: Speculations about their origins and domain specificity. In M. R. Gunnar and M. Maratsos, editors, *Modularity and constraints in language and cognition*, Hillsdale, NJ, 1992. Lawrence Erlbaum Associates.
- [18] J. Piaget and B. Inhelder. *La Psychologie de L'enfant*. PUF, Paris, 1966.
- [19] E. S. Spelke. Principles of object perception. *Cognitive Science*, 14:29–56, 1990.
- [20] L. Steels. Language as a complex adaptive system. In M. Schoenauer, editor, *Proceedings of PPSN-VI*, Berlin, 2000. Springer-Verlag.
- [21] M. Takáč. Categorization by sensory-motor interaction in artificial agents. In *Proceedings of the 7th International Conference on Cognitive Modeling*, Trieste, Italy, 2006.
- [22] L. Talmy. *Toward a Cognitive Semantics*. MIT Press, Cambridge, MA, 2000.
- [23] M. Tomasello and J. Farrar. Joint attention and early language. *Child Development*, 57:1454–1463, 1986.
- [24] A. Tversky. Features of similarity. *Psychological Review*, 84(4):327–352, 1977.
- [25] J. Šefránek. Kognícia bez mentálnych procesov. In L. Beňušková et al., editors, *Kognitívne vedy*, pages 200–256, Bratislava, 2002. Kaligram.
- [26] B. L. Whorf. *Language, Thought and Reality: Selected writings of Benjamin Lee Whorf*. MIT Press, Cambridge, MA, 1956.