

Modelovanie kategorizácie farieb

Kristína Rebrová

Fakulta matematicky, fyziky a informatiky, Univerzita Komenského v Bratislave
Mlynská dolina, 84248 Bratislava
E-mail: kristina.rebrova@fmph.uniba.sk

Abstrakt

Kategorizáciu, ktorá funguje na pozadí ľubovoľných kognitívnych procesov, je vhodné študovať cez elementárne javy, akými je napríklad pomenovanie farieb. Skutočnosť, že fyziológia vnímania farieb je univerzálna, nám umožňuje skúmať a porovnávať kategorizáciu farieb v akejkoľvek kultúre či jazyku, či umelom systéme. Predstavíme model kategorizácie farieb založený na prototypovej teórii kategorizácie, konkrétne na sémantike rozlišovacích kritérií, a z neho vytvorenú simuláciu natrénovanú na dátach zo svetovej farebnej štúdie (WCS). Načrtne jeho využitie v multiagentovej simulácii kategorizácie farieb so zameraním na vývin kolektívneho lexikónu v sociálnej interakcii.

1 Úvod

Kategorizácia je esenciálnym mechanizmom myslenia a kognície ako takej. Umožňuje nám rozlišovať objekty vo svete a vzťahy medzi nimi. Jednou z možných ciest ku pochopeniu ľudského myslenia a usudzovania je skúmanie kategorizácie v jazyku [11]. Skutočnosť, že fyziológia vnímania farieb je univerzálna, nám umožňuje skúmať kategorizáciu a pomenovanie farieb v akejkoľvek kultúre, jazyku, či umelom biologicky motivovanom systéme a výsledky z takýchto skúmaní navzájom porovnávať, hľadať všeobecné mechanizmy a odlišnosti.

Cieľom tohto príspevku je uviesť čitateľa do problematiky vnímania a pomenovania farieb, predstaviť teóriu o univerzálnosti farebných kategórií a s ňou súvisiaci model inšpirovaný prototypovou teóriou kategorizácie [14]. Popíšeme jeho implementáciu v počítačovej simulácii s využitím dát z veľkej svetovej farebnej štúdie [4] a načrtne ďalšie jeho využitie v multi-agentovej simulácii, zameranej na zdôraznenie vplyvu sociálnej interakcie na vznik univerzálnych farebných kategórií a zdieľaného farebného lexikónu.

2 Vnímanie a reprezentácia farieb

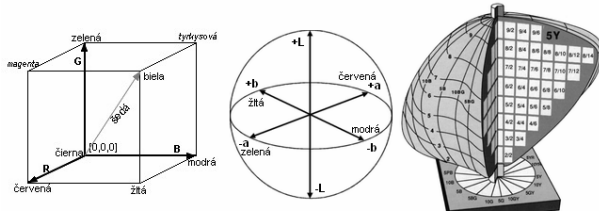
Na otázku, čo je to farba, môžeme odpovedať niekoľkými spôsobmi. Môžeme povedať, že je to vlastnosť alebo vedľajší produkt svetla – elektromagnetického žiarenia

s vlnovou dĺžkou od 380nm do 740nm, ktoré dopadá na sieťnicu oka a je ďalej spracúvané perцепčným aparátom, ktorý produkuje zmyslový vnem [20]. Farba je však tiež vlastnosťou ľudského mozgu alebo mysle. Vieme si ju predstaviť aj bez použitia perцепčného systému. Preto väčšinou popisujeme farbu nepriamo ako psychologický vnem s tromi komponentmi – odtieňom, jasom a saturáciou (čistotou farby).

Počas histórie skúmania farebného videnia boli formulované dve základné teórie a to trichromatická teória a teória opozičných procesov [6], obe ešte pred objavením svetlocitlivých buniek v oku. Trichromatická alebo Young-Helmholtzova teória vnímania farieb je založená na pokusoch s miešaním farieb a tvrdí, že v oku existujú práve tri typy farebných kanálov (červený, modrý, zelený), ktoré sú potrebné a súčasne postačujúce pre namiešanie akejkoľvek farby. Teória opozičných procesov tiež hovorí o troch základných, avšak vo svojej podstate odlišných kanáloch farebného vnímania. Ide o páry takzvaných opozičných farieb, ktoré nikdy nie je možné vnímať súčasne. Sú to zelená – červená, modrá – žltá a čierna – biela. Neexistuje nič také ako červenkastá zelená alebo žltkastá modrá. Napriek tomu, že si tieto teórie pôvodne konkurovali, ani jedna z nich nie je samostatne postačujúca pre vysvetlenie celého princípu farebného vnímania. V ľudskom oku skutočne sú práve tri typy farebných receptorov, no spracovanie informácie z nich, prebiehajúce v subkortikálnom jadre (LGN) a primárnej vizuálnej kôre, má charakter opozičných procesov [3].

Aby sme mohli farby zaznamenávať, objektívne porovnávať a skúmať, potrebujeme ich vyjadriť exaktne – pomocou farebných priestorov. Farebný priestor si môžeme predstaviť ako klasický (Euklidovský) vektorový priestor, ktorého osi reprezentujú vlastnosti alebo základné zložky farby. Sú to kvalitatívne vlastnosti ako odtieň, jas a saturácia alebo pomery základných farieb, pomocou ktorých sa farby namiešavajú. Perceptuálny farebný priestor [9] je taký, v ktorom je vzdialenosť medzi dvoma diskrétnymi hodnotami (farbami) úmerná tomu, ako by ich rozdielnosť alebo podobnosť vnímal ľudský perцепčný aparát. Rozdielne farby sú od seba ďaleko, podobné zas blízko.

Medzi najznámejšie perceptuálne farebné priestory patrí CIEL*a*b* [6], založený na nelineárnej transformácii biologického CIEXYZ a teórii opozičných procesov. Jeho koordináty reflektujú 3 opozičné kanály: L^* je svetlosť farby od čiernej po bielu, a^* hovorí o pozícii farby medzi zelenou a magentou (fuchsiovou) a b^* medzi modrou a žltou. Významný je tiež Munsellov systém farieb, ktorého zložky reflektujú kvalitu farebného vnemu, a to odtieň, svetlosť a chromu (sýtosťou farby). Je tiež usporiadaný do kruhu s opozičnými farbami oproti sebe. Všimnime si jeho špecifický tvar, budeme ho spomínať ako vysvetlenie pre univerzálne farebné kategórie v časti 3.4, viac o farebných priestoroch, ale aj percepcii a kategorizácii v [12].



Obr. 1. Schémy významných farebných priestorov zľava RGB, CIEL*a*b*, Munsellov systém farieb (obr. prevzatý z [7]).

3 Pomenovávanie a kategorizácia farieb

Kategorizácia je proces, v ktorom narábame s rôznymi entitami, akoby boli rovnaké [20], zaraďujeme ich do kategórií. Tento mechanizmus sa uplatňuje pri vnímaní (rozlišovaní), usudzovaní, plánovaní, reči a mnohých ďalších kognitívnych aktivitách.

Najvplyvnejšou z moderných teórií kategorizácie je prototypová teória Eleanor Roschovej [14]. Tá tvrdí, že prvky jednej kategórie nemusia mať jednu určujúcu vlastnosť ako tvrdia klasické teórie, stačí, keď sú rôznymi zdieľanými vlastnosťami navzájom prepojené. Pomocou špeciálnych psychologických experimentov Roschová potvrdila, že sa v kategóriách vyskytujú prototypové javy a teda, že existujú „najlepšie reprezentanty kategórií“, prvky, ktoré zdieľajú mnoho vlastností s ostatnými prvkami kategórie a málo s prvkami iných kategórií. Tiež objavila, že v hierarchických štruktúrach, napríklad taxonómiiach, existujú takzvané kategórie základnej úrovne. Pomenúvajú ich krátke slová, ktoré sú používané častejšie než pomenovania z vyšších či nižších úrovní taxonómie. Tieto slová sú prvé, ktoré sa deti učia pri pomenovávaní okolitého sveta a prvé termíny, ktoré vznikajú pre daný koncept v jazyku. Tento princíp funguje aj pri pomenovávaní farieb.

Kategorizáciu farieb možno rozčleniť na lexikálnu a perceptuálnu [20], ktoré spolu úzko súvisia. Lexikálna farebná kategorizácia spočíva v delení farebných vnemov na triedy korešpondujúce so symbolmi

farebného sveta daného jazyka. Perceptuálna zase triedi farby bez ohľadu na znalosť jazyka. V jazyku pomenovávame vnímané farebné kategórie pomocou farebných termínov. Priekopníci výskumu lexikálnej farebnej kategorizácie boli Berlin a Kay [2], ktorí skúmali najmä to, či sú termíny pre farebné kategórie univerzálne pre všetky jazyky na svete. Dospeli k rovnakým záverom ako Roschová, teda že aj v pomenovávaní farieb existujú kategórie základnej úrovne, označované základnými termínmi. Tie sú známe všetkým hovorcom daného jazyka, ktorí pomocou nich vedú pomenovať akúkoľvek farbu a navzájom sa na tomto pomenovaní zhodnúť.

3.1 Základné farebné kategórie

Základné farebné kategórie, ktoré si môžeme predstaviť ako oblasti farebného priestoru s neostrými hranicami, vznikajú na základe vizuálneho vnímania a kultúrnej interakcie hovorcov a pomenúvajú ich základné farebné termíny. Teóriu o základných farebných termínoch sformulovali Berlin a Kay v roku 1969 v knihe Basic Color Terms: Their Universality and Evolution [2]. O ich povahe tvrdili nasledovné:

1. Existuje množina základných farebných kategórií s obmedzeným počtom prvkov univerzálne pre všetky jazyky.
2. Farebné termíny vystihujúce kategórie z tejto množiny pribúdajú do jazykov v približne rovnakom poradí, ktoré je možné interpretovať ako evolúciu farebného lexikónu jazyka.

Množina základných farebných termínov pozostáva z kategórií zodpovedajúcich anglickým, ale aj našim termínom: čierna, biela, červená, zelená, žltá, modrá, oranžová, hnedá, ružová, fialová a šedá. Hlavná myšlienka tejto teórie je, že základné farebné kategórie ľubovoľného jazyka pozostávajú z 2 až 11 farieb z tejto množiny a že medzi jazykmi s rôznym počtom termínov existuje určitá hierarchia, ktorá by naznačovala, že sa základné farebné termíny v jazykoch časom vyvíjajú (napríklad evolučne starší jazyk má spoločnú kategóriu pre modrú a zelenú a evolučne novší má zelenú a modrú zvlášť). Empiricky boli tieto tvrdenia podložené výsledkami zo série farebných experimentov. Napriek tomu, že na prvotné potvrdenie teórie experimenty stačili, boli v nich podstatné metodologické nedostatky [9].

3.2 Svetová farebná štúdia

Projekt World Color Survey alebo Svetová farebná štúdia bol odštartovaný v roku 1975 [4]. Jeho hlavným cieľom bolo vytvoriť veľkú bázu empirických dát a na jej základe potvrdiť, vyvrátiť či modifikovať pôvodné hypotézy Berlina a Kaya. Na experimente sa zúčastnili probandi zo 110 jazykov bez písma a industrializovanej kultúry.

Databáza výsledkov z WCS bola prístupná na internete v roku 2003 [5].

Na experimente sa zúčastnilo v každom jazyku v priemere 24 probandov, mužov aj žien, prednostne monolingválnych. Pozostával z dvoch úloh. V prvej časti bolo probandom individuálne prezentovaných 330 farebných vzoriek vybraných z Munsellovho farebného priestoru. Inštrukcie viedli probandov k tomu, aby používali základné farebné termíny (podľa definície, ktorú sme uviedli vyššie). Farebné vzorky im boli prezentované v preddefinovanom náhodnom poradí rovnakom pre všetkých probandov. V druhej fáze im bola predstretá mriežka so všetkými 330 vzorkami (usporiadanými podľa odtieňa a svetlosti), na ktorej mali pre všetky použité termíny vybrať ich najlepšie reprezentanty.

3.3 Analýza dát z WCS

Hlavnou úlohou WCS bolo overiť tvrdenia Berlina a Kaya z 1969, teda potvrdiť, že sa základné farebné termíny z jazykov WCS „podobajú“ na základné farebné termíny z angličtiny (alebo aspoň na 6 základných opozičných farieb) pomocou analýzy výsledkov farebných experimentov. Tie poskytujú priamu súvislosť medzi farebnými hodnotami vzoriek z experimentu, ktoré si môžeme predstaviť aj ako body vo farebnom priestore a farebnými termínmi, ktorými ich probandi pomenovali.

Najvýznamnejšia štúdia Kaya a Regiera [10] skúmala klasterizáciu (zhlukovanie) farebných kategórií naprieč všetkými jazykmi z WCS na základe miery disperzie geometrických centier farebných kategórií (útvarov v priestore $CIEL^*a^*b^*$). Porovnanie disperzie farebných termínov z WCS a fiktívnych náhodných dát ukázalo, že farebné termíny z WCS sa zhukujú do väčšej než náhodnej miery. Autori štúdie podobným spôsobom ukázali aj to, že centrá termínov z WCS sa vyskytujú v blízkosti centier pre angličtinu, čiže dokázali prvú časť univerzalistickej hypotézy a teda, že množina „použiteľných“ základných farebných kategórií je spoločná pre všetky jazyky. V [13] zas autori ukázali, že 6 základných opozičných farieb funguje ako univerzálna množina najlepších reprezentantov, tiež to, že klasterizácia najlepších reprezentantov z WCS je ešte vyššia než klasterizácia centier termínov, a že na ich základe je možné predpovedať hranice farebných kategórií v jazyku.

3.4 Univerzálnosť farebných kategórií

Jednou z odpovedí na otázku pôvodu univerzálnych pravidiel pri vzniku farebných kategórií je evolúcia. Podľa [15] sú farby najlepších reprezentantov kategórií univerzálne kvôli tomu, že sa často vyskytujú v životnom

prostredí a preto je na ne náš perceptuálny systém určitým spôsobom naladený. Podobne môže ísť o evolučné naladenie na vlastnosti najbežnejšieho denného osvetlenia [21].

V [9] Jamesonová a D'Andrade zas tvrdia, že vznik a univerzálnosť základných farieb (červenej, zelenej, modrej, žltej a fialovej) sa úzko viaže na tvar ideálneho perceptuálneho farebného priestoru, konkrétne Munsellovho farebného priestoru. Ako vidno na obrázku 1, jeho tvar nie je úplne pravidelný. Práve v oblastiach, ktoré sú buď to vypuklé alebo znížené, sa nachádzajú najlepšie reprezentanty základných farebných kategórií. Ďalej táto štúdia tvrdí, že pomenovávanie častí farebného priestoru sa musí uskutočňovať tak, aby maximalizovalo informačnú hodnotu farebných termínov, preto sú na telese, ktoré tento priestor reprezentuje, rovnomerne rozložené.

Okrem fyziologického aspektu treba prihliadať aj na sociálny rozmer, konkrétne na verbálnu komunikáciu medzi hovorcami jazyka. Ten bol skúmaný pomocou multi-agentovej simulácie [1, 16], ktorú popíšeme v nasledujúcej kapitole.

4 Modelovanie kategorizácie farieb

Základom kulturalistického prístupu k vzniku farebných kategórií je jeho silné prepojenie na situované používanie termínov pre farebné kategórie v jazykovej praxi. Belpaeme a Steels [16] a Belpaeme a Bleys [1] vo svojich simuláciách modelovali vzájomne prepojenú perceptuálnu a lexikálnu kategorizáciu a vznik zdieľaného farebného lexikónu pomocou sémantiky jazykových hier. Agenty sú v tomto modeli vybavené percepciou v priestore $CIEL^*a^*b^*$, internými reprezentáciami pre farebné kategórie, lexikónom pre ich pomenovania a schopnosťou konať dve akcie: „hru na rozlišovanie“ (discrimination game) a „hru na hádanie“ (guessing game). Medzi agentmi neexistuje žiadne telepatické spojenie, o svojich „názoroch“ na farby sa navzájom dozvedajú len pomocou verbálnej interakcie.

4.1 Reprezentácia farebných kategórií

V [1] je každá kategória reprezentovaná ako jeden bod vo farebnom priestore a príslušnosť do kategórie je úmerná prevrátenej hodnote vzdialenosti perceptu od prototypu kategórie. V [16] sú kategórie reprezentované zložitejším spôsobom, pomocou takzvaných adaptívnych sietí. Adaptívna sieť je dopredná dvojvrstvová neuronová sieť z RBF neurónov, ktoré sa však sami o sebe neučia, inicializujú sa pri vzniku a menia sa len ich váhy smerom do výstupného neurónu. RBF neurón tvorí jeho stred (prototyp) a jeho okolie určené normalizovanou Gaussovskou funkciou s parametrizovanou šírkou.

4.2 Jazykové hry

Agenty poznajú dva druhy akcií, hru na rozlišovanie a hru na hádanie, pričom skutočná jazyková hra je len druhá. V prvom prípade ide totiž len o rozlíšenie náhodne vybranej farebnej vzorky (predmet) od niekoľkých ďalších vybraných vzoriek (kontext)¹. Túto hru sa hrá každý agent vždy sám. Hru na hádanie sa hrajú dva agenti s vopred stanovenými úlohami hovorca a poslucháča a jej cieľom je doplnenie chýbajúcich interných farebných kategórií u oboch agentov a zosúladenie farebných lexikónov, ktoré farebné kategórie pomenúvajú a reprezentujú verejne. Priebeh tejto hry sa vždy odvíja od hry na rozlišovanie, ktorú na začiatku vykonal jeden z agentov, čo znamená, že ešte pred začiatkom komunikácie si musia agenti sami osvojiť dostatočne silné reprezentácie farieb a až potom začnú komunikovať o tom, čo vnímajú.

4.3 Výsledky simulácií

Výsledky zo simulácií porovnané s dátami z WCS ukázali, že tieto dva mechanizmy (hry) postačujú pre vytvorenie zdieľaného farebného lexikónu. Zaujímavý výsledok bol, že systém farebných kategórií, ktorý si agenti vytvorili, bol kvalitatívne podobný základným farebným kategóriám z WCS a teda aj v umelom prostredí s použitím vhodnej reprezentácie farieb (perceptuálneho farebného priestoru) je možné nasimulovať vznik farebných kategórií pochádzajúcich z nášho univerzálneho repertoára.

5 Simulácia na báze sémantiky rozlišovacích kritérií

V našom skúmaní a modelovaní kategorizácie farieb sme sa zamerali na dva hlavné aspekty: internú reprezentáciu farebných kategórií a osvojovanie si základných farebných kategórií v prostredí. Náš model internej reprezentácie kategórií je založený na Roschovej zisteniach o prototypových javoch. Každá kategória reprezentovaná jej prototypom a členstvo prvkov v nej sa odvíja od ich vzdialenosti od prototypu.

Zamerali sme sa na osvojovanie si reálnych farebných kategórií pomocou učenia s učiteľom. Pre každý z jazykov z WCS sme vytvorili idealizovaného umelého hovorca, ktorý sa učil kategorizovať farby „ostenzívnym“ spôsobom² na základe všetkých odpovedí všetkých

¹ Kontext sa vyberá z veľkej množiny tréningových dát. Jeho veľkosť býva štandardne 3 a Euklidovská vzdialenosť medzi konkrétnymi farebnými hodnotami v kontexte musí byť aspoň 50.

² Myslíme tým ukazovací spôsob – akoby za naším novým umelým hovorcom prišli všetci probandi z experimentu z jedného jazyka a jeden po druhom pred ním ukázali na konkrétne farby a pomenovali ich.

probandov z daného jazyka. Vnútorne reprezentácie farebných kategórií tohto simulovaného hovorca sme implementovali pomocou rozlišovacích kritérií.

5.1 Rozlišovacie kritéria

Sémantiku rozlišovacích kritérií pôvodne navrhol Šefránek [17] a implementoval Takáč [18,19]. Každé rozlišovacie kritérium funguje ako lokálne reagujúci detektor a reprezentuje jednu kategóriu, teda je schopné rozhodnúť, do akej miery je jemu prezentovaný vstup členom kategórie, ktorú predstavuje. Lokálne reagujúci detektor si môžeme predstaviť ako dvojicu, prototyp kategórie reprezentovaný bodom vo vstupnom priestore kritéria a aktívnu funkciu kritéria, ktorá na výstupe vracia číslo z intervalu $\langle 0,1 \rangle$, reakciu na vzdialenosť vstupu od prototypu kritéria. Dôležitou vlastnosťou rozlišovacích kritérií je adaptívnosť – prototyp, rovnako ako aj parametre metriky, na ktorej je založená aktívna funkcia, sa priebežne počítajú z príkladov tak, aby odrazili štatistické charakteristiky učiacej vzorky.

Meraním vzdialenosti vstupu od prototypu, ktorý sa nachádza v centre kategórie, získame jeho „mieru príslušnosti“ do tejto kategórie: čím je vzdialenosť nižšia, tým je hodnota aktívnej funkcie bližšie k 1, a vstup je lepším reprezentantom kategórie. Táto reprezentácia umožňuje, aby mali kategórie neostré (fuzzy) hranice, tak ako kategórie v reálnom svete. V implementácii rozlišovacích kritérií, ktorú sme použili, získava každé kritérium svoj prototyp na základe jemu prezentovaných vstupov (dostáva len pozitívne príklady), konkrétne ako ich geometrické centrum, v našom prípade priemer ich súradníc. Lokálne reagujúci detektor $r_{\vec{p}}$ (kde p je prototyp kategórie) vráti aktiváciu exponenciálne klesajúcu s vzdialenosťou od prototypu

$$r_{\vec{p}}(x) = \exp(-k \cdot d(\vec{p}, \vec{x})), \quad (1)$$

kde k je kladná konštanta, $d(\vec{p}, \vec{x})$ je použitá metrika a \vec{x} je trojrozmerný vektor vo farebnom priestore CIEL*a*b*. Rozlišovacie kritéria, ktoré sme použili zaznamenávajú distribúciu vstupov v kovariančnej matici Σ a pre výpočet aktivácie používajú Mahalanobisovu metriku

$$d_{\Sigma^{-1}}^2(\vec{p}, \vec{x}) = (\vec{x} - \vec{p})^T \Sigma^{-1} (\vec{x} - \vec{p}), \quad (2)$$

kde \vec{p} a \vec{x} stĺpcové vektory a Σ^{-1} je inverzná matica ku kovariančnej matici Σ množiny vstupov, ktoré kritérium dostalo počas tréningovania. Pre bližší popis tohto mechanizmu viď [19].

5.2 Simulácia s dátami z WCS

Simuláciu sme implementovali v jazyku Java s použitím knižníc pre kovariančné rozlišovacie kritériá a súvisiacich matematických knižníc z [18]. Trénovacie sady pre simulácie sme vytvorili z databázy výsledkov experimentov WCS [5].

Pre každý jazyk sme vytvorili sadu rozlišovacích kritérií zodpovedajúcich všetkým farebným termínom, ktoré použili probandi z daného jazyka. Počas tréovania dostávali kritéria ako vstup trojrozmerné vektory vo farebnom priestore CIEL*a*b*, ktoré zodpovedali farebným vzorkám, políčkam farebnej mriežky z pôvodného experimentu. Použili sme všetky odpovede všetkých probandov daného jazyka³, ktoré sme postupne predkladali príslušným rozlišovacím kritériám. V prvom prípade sme pre testovanie použili všetkých 330 vzoriek. Pre štatisticky dôslednejšie overenie kategorizačnej schopnosti rozlišovacích kritérií sme použili k-násobnú prekríženu (cross) validáciu s $k = 5$, pričom sme odpovede probandov do množín delili podľa konkrétnych farebných vzoriek. Najprv sme rozdelili 330 vzoriek do množín a podľa nich rozdelili odpovede probandov do sád na tréovanie a testovanie.

Po natréovaní všetkých rozlišovacích kritérií pre všetky jazyky sme porovnali výsledky simulácie so štatisticky vyhodnotenými pôvodnými dátami, a to na základe víťazných kategórií, vektorov aktivít a celkovo na základe klasterizácie kategórií naprieč všetkými jazykmi. Pod víťaznou kategóriou pre danú vzorku rozumieme poradové číslo termínu, ktorý na jej pomenovanie použilo najväčšie množstvo probandov (víťaz berie všetko). Pre simuláciu sme mieru príslušnosti vstupu do kategórie vyjadrili ako súčin aktivácie rozlišovacieho kritéria r_p pre vstup c a počtu probandov N , ktorí pre danú vzorku použili reprezentované pomenovanie, teda $r_p(c) \cdot N$. Táto miera slúžila na výber víťazných pomenovaní, ale aj na vytvorenie vektorov aktivít, teda distribúcií odpovedí probandov a aktivácií interných reprezentácií umelého hovorcu. Distribúcie vo forme vektorov sme vyjadrili pre každý vstup, znormovali ich použitím Euklidovskej normy a vypočítali ich skalárny súčin. Ak je skalárny súčin rovný 1, vektory sa rovnajú, ak -1, sú si navzájom opačné. Naším predpokladom bolo, že sa tieto hodnoty budú blížiiť k jednej. Zhodu na víťazných pomenovaniach a skalárny súčin vektorov aktivít sme vyjadrili pre všetky testovacie vzorky a vypočítali priemer pre každý jazyk.

Posledný spôsob porovnania sme vybrali z [10]. Pre každú kategóriu každého jazyka sme vypočítali jej

centrum ako bod v priestore CIEL*a*b*. Mieru klasterizácie sme vyjadrili pomocou miery disperzie týchto kategórií nasledujúcim spôsobom. Pre každú kategóriu x v jazyku l sme našli kategóriu x^* v inom jazyku l^* , ktorá k nej bola spomedzi všetkých ostatných kategórií všetkých ostatných jazykov euklidovsky najbližšie. Mieru disperzie kategórií sme určili tak, že sme pre každý jazyk vypočítali sumu vzdialeností medzi jeho kategóriami a im najbližšími kategóriami z ostatných jazykov a tieto sumy navzájom sčítali.

$$D = \sum_{l, l^* \in WCS} \sum_{x \in l, x^* \in l^*} \min vzd(x, x^*). \quad (3)$$

Vychádzajúc z overenej skutočnosti [10], že farebné kategórie v jazykoch z WCS majú disperziu menšiu než náhodné dáta, sme sa rozhodli porovnať disperziu vypočítanú z WCS dát s disperziou kategórií z našej simulácie. Tú sme vypočítali vyššie uvedeným spôsobom s tým, že centrá kategórií sme nepočítali z odpovedí probandov, ale použili sme prototypy z rozlišovacích kritérií, ktoré ich predstavovali.

5.2.1 Výsledky

Výsledky simulácií zobrazuje Tabuľka 1. Z výsledkov vyplýva, že rozlišovacie kritériá boli väčšinou veľmi úspešné a len v niektorých prípadoch menej úspešné, čo súhlasí so skutočnosťou, že výsledky experimentov pre niektoré jazyky neboli úplne konzistentné.

k	priemer	št. odch.	max.	min.	medián
-	89.854%	8.745%	97.879%	54.545%	91.515%
5	89.532%	8.887%	97.273%	54.545%	90.909%
-	0.96700	0.00459	0.98965	0.78902	0.97229
5	0.89532	0.08887	0.97273	0.54545	0.90909

Tabuľka 1. Výsledky simulácií. Prvé dva riadky hovoria o percentuálnej zhode na víťazných termínoch medzi simuláciou a reálnymi dátami a druhé dva o podobnosti vektorov aktivít. Stĺpec „k“ hovorí o tom, či bola použitá prekrížená validácia a ak áno, tak s akým počtom množín.

Disperzia farebných kategórií bola v prípade rozlišovacích kritérií výrazne (asi 3-krát) menšia než disperzia farebných termínov z WCS, čo znamená, že centrá kategórií z rozlišovacích kritérií mali značne väčšiu mieru klasterizácie než reálne dáta. Tento výsledok poukazuje na to, že rozlišovacie kritéria sú schopné úspešne generalizovať trénovacie dáta. Ak by to tak nebolo, miera disperzie by sa blížila k tej vypočítanej z pôvodných dát. Podstatný rozdiel medzi hodnotami disperzie v simulácii a v reálnych dátach vyplýva aj zo „zašumenosti“ výsledkov experimentov vo WCS.

³ Pri priemernom počte 25 probandov na jeden jazyk a 330 vzorkách je to cca 8250 vstupných hodnôt.

5.3 Simulácia pomocou jazykových hier

Cieľ, na ktorom v súčasnosti pracujeme, je zreprodukovať oboch spomínaných simulácií s jazykovými hranami, a porovnanie ich výsledkov so simuláciami, v ktorých použijeme na reprezentáciu konceptov rozlišovacie kritériá. Motiváciou pre tento projekt je nielen skúmanie samotného procesu akvizície konceptov pre farby, ale aj kategorizačnej schopnosti rozlišovacích kritérií pri úlohe o niečo náročnejšej než v časti 5.2.

6 Záver

V príspevku sme stručne popísali fungovanie perceptuálnej a lexikálnej kategorizácie farieb. Dôležitým fenoménom v tejto oblasti je existencia párov základných opozičných farieb. Sú to biela – čierna, červená – zelená a žltá – modrá. Týchto šesť základných farieb figuruje aj v jadre teórie o základných farebných termínoch (kategóriách). Štatistické spracovanie dát zozbieraných v rámci svetovej farebnej štúdie (WCS), obsahujúcej 110 jazykov neindustrializovaných kultúr bez písma, ukázalo, že v kategorizácii farieb existujú všeobecne platné princípy. Univerzálne základné farebné kategórie sú oblasti, do ktorých sa zhľukujú (klasterizujú) najlepšie reprezentanty farebných termínov všetkých jazykov. Predpokladá sa, že táto univerzálnosť pramení z farebnej kompozície životného prostredia a bežného denného osvetlenia, ideálneho funkčného rozdelenia perceptuálneho farebného priestoru a sociálnej interakcie.

V našej simulácii kategorizácie farieb sme použili prototypový prístup k modelovaniu kategórií. Pre každý jazyk z WCS sme simulovali idealizovaného umelého hovorcu, ktorý si osvojoval farebné termíny v danom jazyku. Pre internú reprezentáciu týchto termínov a im zodpovedajúcich farebných kategórií sme použili sémantiku rozlišovacích kritérií, ktoré reagujú na prezentované vstupy vyhodnocovaním vzdialenosti medzi vstupom a prototypom kategórie. Výsledky simulácie ukázali, že prototypový model kategorizácie založený na sémantike rozlišovacích kritérií je vhodný pre problematiku pomenovania farieb a farebných kategórií. Načrtli sme ďalšie, prebiehajúce kroky v práci s rozlišovacími kritériami a to, ich využitie v multi-agentovej simulácii vzniku zdieľaného farebného lexikónu.

Pod'akovanie: Tento príspevok vznikol v Centre kognitívnych vied, KAI, FMFI UK v Bratislave za podpory grantovej agentúry KEGA MŠ SR, v rámci grantovej úlohy 3/7300/09 a grantovej agentúry VEGA, v rámci grantovej úlohy 1/0361/08.

Literatúra

- [1] Belpaeme, T., Bleys, J.: Colourful language and colour categories, Second International Symposium on the Emergence and Evolution of Linguistic Communication, 2005.
- [2] Berlin, B., Kay, P.: *Basic Color Terms: Their Universality and Evolution*. University of California Press, Berkeley, CA, 1969.
- [3] Conway, B.R. Spatial structure of cone inputs to color cells in alert macaque primary visual cortex (V-1). *Journal of Neuroscience*, 21 (2001), pp. 2768-2783.
- [4] Cook, R. S., Kay, P., Regier T.: The World Color Survey database: History and use. In Cohen, H. Lefebvre, C.: *Handbook of Categorization in Cognitive Science*, Elsevier, St. Louis, 2005, pp. 223-242.
- [5] Cook, R. S., Kay, P., Regier T.: *WCS data archives*. 2003 (posledná zmena 14.11.2006). <<http://www.icsi.berkeley.edu/wcs/data.html>>
- [6] Fairchild, M.D.: *Color Appearance Models, 2nd Ed.* Wiley-IS&T, Chichester, UK. 2005.
- [7] ID-Studiolab. 2004. <<http://studiolab.io.tudelft.nl/vormtheorie1/boulevard/onnoscolourshow/pics.html>>
- [8] Jameson K.A., D'Andrade R.G.: It's not really Red, Green, Yellow, Blue: An inquiry into perceptual color space. In Hardin, C.L. and Maffi, L., *Color Categories in Thought and Language*, MIT Press, Cambridge, MA, 1997, p. 295–319.
- [9] Kay, P., Berlin, B., Maffi L., Merrifield, W.: Color naming across languages. In Hardin, C.L., Maffi, L., *Color Categories in Thought and Language*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1997, pp 21–58.
- [10] Kay, P., Regier, T.: Resolving the question of color naming universals, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100 (2003), pp. 9085-9089
- [11] Lakoff, G.: *Women, Fire and Dangerous Things*, The University of Chicago Press, Chicago, 1987.
- [12] Rebrová, K., Takáč M.: Vnímanie a pomenovanie farieb a farebných kategórií. In Kvasnička, V. et al., *Umelá inteligencia a kognitívna veda II*, STU, Bratislava, 2010.

- [13] Regier T., Kay P., Cook R. S.: Universal foci and varying boundaries in linguistic color categories. In Bara, B. G., Barsalou L., Bucciarelli, M., *Proceedings of the 27th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 2005.
- [14] Rosch, E.: Principles of Categorization, in Rosch E., Lloyd B., *Cognition and Categorization*, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale NJ, 1978, pp. 27-48.
- [15] Shepard, R.N.: The perceptual organization of colors. In Barkow, J. et al., *The Adapted Mind*, Oxford University Press, Oxford, 1992, pp. 495–532.
- [16] Steels, L., Belpaeme, T.: Coordinating Perceptually Grounded Categories through Language. A Case Study for Colour, *Behavioral and Brain Sciences* 28 (2005), pp. 469-489.
- [17] Šefránek, J.: Kognícia bez mentálnych procesov. In Beňušková, Ľ. et al.: *Kognitívne vedy*, Kaligram, Bratislava, 2002, pp. 200-256.
- [18] Takáč, M.: Autonomous Construction of Ecologically and Socially Relevant Semantics. *Cognitive Systems Research* 9 (2008), pp. 293-311.
- [19] Takáč, M.: Kognitívna sémantika komplexných kategórií založená na rozlišovacích kritériách. In: Kvasnička et. al, *Mysel, inteligencia a život*. Vydavateľstvo STU, Bratislava, 2007, pp. 339 - 355.
- [20] Wilson R. A., Keil F. C. (Eds.): *MIT Encyclopedia of Cognitive Sciences*. MIT Press, Cambridge, MA, 1999.
- [21] Yendrikhovskij, S.N.: Computing color categories from statistics of natural images. *Journal of Imaging Science and Technology* 45 (2001), pp. 409–417.