

# Výpočtový model osvojovania abstraktnej a povrchovej syntaxe

Martin Takáč<sup>1\*</sup>, Eubica Beňušková<sup>1,2</sup>, Alistair Knott<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centrum kognitívnych vied, KAI FMFI Univerzity Komenského  
Mlynská dolina, 842 48 Bratislava

<sup>2</sup>Dept. of Computer Science, University of Otago  
PO Box 56, Dunedin 9054, Nový Zéland

takac@ii.fmph.uniba.sk, lubica@cs.otago.ac.nz, alik@cs.otago.ac.nz

\*korešpondenčný autor

## Abstrakt

V príspevku predstavíme konekcionistický model osvojovania gramatiky a produkcie jazyka. Model je schopný osvojiť si abstraktné pravidlá o kanonickom poradí vetných členov daného jazyka, ako aj povrchové javy ako sú ustálené slovné spojenia – idiómy na základe trénovacej množiny pozostávajúcej z významov a viet cieľového jazyka vyjadrujúcich tieto významy. Kľúčovou novou myšlienkou modelu vychádzajúcou z najnovších psycholingvistických a neurovedných poznatkov je reprezentácia významov ako sekvencií senzomotorických operácií. Vygenerovanie vety je vedľajším efektom prehratia takejto sekvencie v pracovnej pamäti. Model vedie k originálnej reinterpretácii generatívnej gramatiky z hľadiska stelesnenej kognície.

## 1 Úvod

Generatívni lingvisti počnúc Chomským tradične chápu osvojovanie gramatiky jazyka ako nastavenie konečnej množiny parametrov v súlade s vrozenými princípmi a jazykovou vzorkou [3]. V rámci generatívnej paradigmy je však ťažké vysvetliť osvojenie povrchových javov ako sú idiómy, ustálené spojenia a kolokácie [9]. Naopak konekcionistické modely empirickej tradície si dokážu úspešne osvojiť povrchovú syntax [6], avšak majú problémy s abstraktnými gramatickými pravidlami a systematickosťou jazyka (napr. [8]). V príspevku predstavíme konekcionistický model produkcie viet, ktorý integruje prvky z oboch tradícií a dokáže si osvojiť abstraktné gramatické pravidlá o usporiadaní vetných členov aj povrchovú syntax.

Produkciou viet rozumieme vygenerovanie gramaticky korektnej sekvencie slov adekvátne vyjadrujúcich nejaký význam - *epizódu* (udalosť alebo stav), pričom sa

obmedzíme na konkrétne epizódy vyjadritelne tranzitívnymi vetami, napr. „*dieťa uchopilo hračku*“. Výskumy z oblasti stelesnenej kognície naznačujú, že skúsenosť takejto epizódy zahŕňa kánonickú sekvenciu senzomotorických operácií – tzv. deiktických rutín [11]. Táto sekvencia je uložená v pracovnej pamäti, odkiaľ môže byť prehrávaná, a slovné vyjadrenie epizódy je vedľajším efektom tohto prehrania v špeciálnom režime. Toto je kľúčovou novou myšlienkou nášho modelu: významy sú reprezentované ako sekvencie a model si na základe vstupných dát (epizód a k nim priradených viet nejakého cieľového jazyka) osvojuje schopnosť generovať správne sekvencie slov pre sekvenčne reprezentované významy.

V ďalšej časti podrobnejšie opíšeme senzomotorické procesy, ktoré tvoria sekvenčnú reprezentáciu významov. Časť 3 opisuje architektúru navrhnutého výpočtového modelu, časť 4 metódu experimentovania s modelom a časť 5 dosiahnuté výsledky. Záver tvorí diskusia a vyvodenie širších záverov pre vzťah empirických a nativistických prístupov.

## 2 Významy reprezentované ako senzomotorické sekvencie

Naša reprezentácia vychádza zo stelesneného (embodied) prístupu ku kognícii (napr. [2]), konkrétne predpokladáme, že forma vysokoúrovňových sémantických reprezentácií odráža štruktúru senzomotorických procesov, pomocou ktorých tieto reprezentácie vznikli. V časovej škále približne tretiny sekundy interakcie aktéra so svetom majú často formu krátkych sekvencií senzomotorických operácií s určitou definovanou štruktúrou. Ballard a kol. [1] nazývajú tieto sekvencie *deiktickými rutinami*. Kľúčovými prvkami

deiktickej rutiny sú pozornostné operácie sprostredkované sakadickými pohybmi očí. Každý sakadický pohyb evokuje tranzitórne reprezentácie v senzomotorických oblastiach mozgu a tie môžu slúžiť na plánovanie ďalšej sakády alebo inej motorickej operácie, ktorá opäť evokuje ďalšie tranzitórne reprezentácie atď., čím vzniká reťaz pozornostných alebo motorických operácií striedaná tranzitórnymi sensorickými stavmi.

Zamerajme sa teraz na konkrétnu tranzitívnu epizódu uchopenia predmetu. Táto je podrobne študovaná v [11], pre referencie a empirickú podporu nasledujúcich tvrdení odkazujeme čitateľa na túto knihu. Epizódu môžeme vnímať z dvoch perspektív: ako aktér – vykonávateľ alebo ako pozorovateľ. V oboch prípadoch nastáva tá istá kánonická sekvencia senzomotorických operácií, začínajúca dvoma pozornostnými operáciami: upriamenie pozornosti na *agenta* akcie, a následne upriamenie pozornosti na zamýšľaný cieľ/objekt akcie. Výsledkom každej pozornostnej operácie je tranzitórna sensorická reprezentácia, ktorá umožní vykonanie nasledujúcej akcie. Keď pozorovateľ upriami pozornosť na *agenta*, evokuje sensorickú reprezentáciu *agenta*, ktorá následne poskytne informáciu o lokalizácii zamýšľaného cieľa. Ak pozorovateľ pozoruje iného *agenta*, túto informáciu získa z pohľadu a postoja aktéra. V prípade vykonávateľa akcie, tento získa informáciu mechanizmom, ktorý vyberá cieľ akcie, konkrétne od svojho vlastného motorického systému, ktorý aktivuje lokalizáciu cieľa v motorickom súradnicovom systéme centrovanom v agentovej vlastnej ruke.

V oboch prípadoch sa následne vykoná sakáda na cieľový objekt, čo spôsobí evokovanie jeho detailnej reprezentácie. Až v tomto momente môže vykonávateľ spustiť motorický program (resp. pozorovateľ aktivovať špeciálny systém na kategorizáciu biologických pohybov) – čím nastane proces s istým časovým trvaním – monitorovanie akcie. Na konci tohto procesu nastáva nový diskretný stav zamerania pozornosti na cieľový objekt (po dosiahnutí uchopenia objektu). Základná postupnosť operácií je teda: zameranie pozornosti na *agenta*, zameranie pozornosti na objekt, monitorovanie akcie.

Túto základnú postupnosť možno ďalej zjemniť/rozšíriť tým, že aj *agent* aj *objekt* akcie sú v centre pozornosti viackrát, resp. rôznymi spôsobmi. *Agent* je najprv pozorovaný ako salientný objekt vo svete a klasifikovaný ako objekt. Neskôr, vo fáze monitorovanie akcie, je pozornosť na *agenta* upriamená znovu, ale tentoraz už nie ako na objekt, ale ako na *agenta*, teda živú entitu s istými charakteristickými pohybovými vzorcami. Podobne je to s objektom akcie: objekt akcie je najprv v centre vizuálnej pozornosti a je klasifikovaný ako objekt. Na konci akcie, keď *agent* dosiahol stabilné uchopenie, je

cieľový *agent* vnímaný v haptickej a čiastočne proprioceptívnej modalite: ako taktilná informácia a ako motorický stav agentovej ruky a ramena. To, že *agent* aj cieľ sa vyskytujú v deiktickej rutine viackrát, významne pomáha pri formovaní multimodálnych konceptov počas detského vývinu.

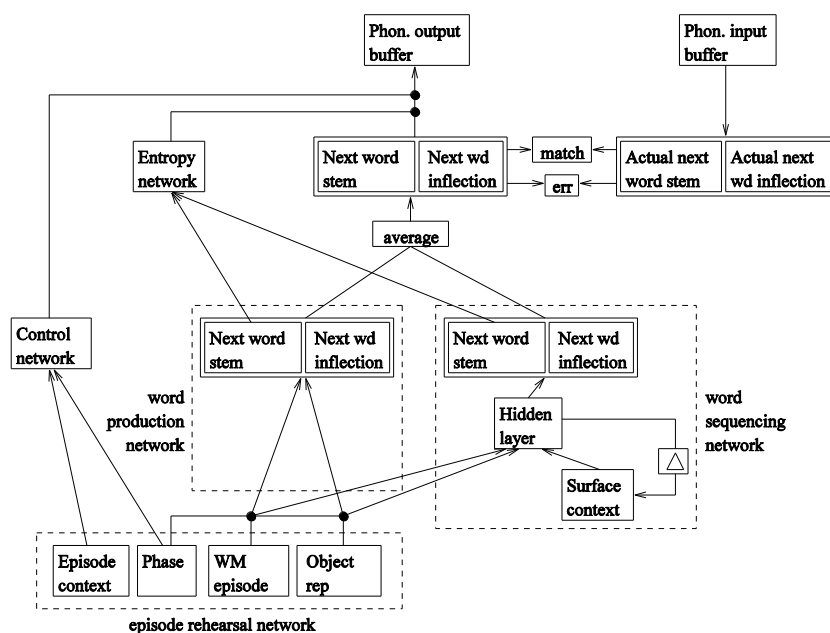
Knott [11] prináša aj model pracovnej pamäti, v ktorom sú epizódy uchovávané ako senzomotorické sekvencie vo formáte umožňujúcom ich neskoršie prehratie. Reprezentácie plánovaných akcií existujú jednak paralelne aktívne v prefrontálnej kôre ako statický plán, a tiež ako tranzitórne reprezentácie v senzomotorickom systéme počas prehrávania sekvencie. Príklad úplnej sekvencie je v Tabuľke 1. Každá operácia v deiktickej rutine má rovnakú štruktúru: *iniciálny kontext*, *operáciu*, ktorá generuje *reaferentný signál* (sensorickú reprezentáciu) a nastolí *nový kontext*. Takto možno jednotlivé operácie za sebou prirodzene reťaziť. Dôležitým tvrdením je, že ak chceme verbálne vyjadriť nejakú epizódu, musíme si v pracovnej pamäti prehrať jej senzomotorickú sekvenciu v špeciálnom režime, ktorý vygeneruje príslušnú lingvistickú výpoveď ako vedľajší efekt prehratia.

**Tab. 1.** Deiktická rutina pre epizódu uchopenia objektu.

Statický plán	Tranzitórne signály			
	Iniciálny kontext	Operácia	Reaferentný signál	Nový kontext
<i>fokus:agent, fokus:objekt, uchop</i>	C1	<i>fokus:agent</i>	<i>repr. agenta</i>	C2
<i>fokus:agent, fokus:objekt, uchop</i>	C2	<i>fokus:objekt</i>	<i>repr. objektu</i>	C3
<i>fokus:agent, fokus:objekt, uchop</i>	C3	<i>uchop</i>	<i>repr. agenta</i>	C4
<i>fokus:agent, fokus:objekt, uchop</i>	C4		<i>repr. objektu</i>	

### 3 Architektúra výpočtového modelu

Náš model je spojením viacerých umelých neurónových sietí malého rozsahu (rádovo stovky neurónov a desaťtisíce spojení), trénovaných algoritmom spätného šírenia chýb [13]. V tomto texte sa obmedzíme na stručnú prezentáciu hlavných myšlienok modelu; podrobnejší konceptuálny opis modelu je v [16], technické detaily možno nájsť v [15]. Štruktúra modelu je na Obr. 1. Model pozostáva z týchto navzájom prepojených modulov:



**Obr. 1.** Architektúra modelu generovania viet z epizód reprezentovaných deiktickými rutinami. Obrázok je prebratý z [15].

**Modul prehrávania epizód** (*episode rehearsal network*) stelesňuje systém prehrávania deiktických rutín: časť *WM episode* obsahuje statický plán vykonania operácií (rovnaký počas celého prehrávania epizódy); dôsledkom prehrávania plánu je postupné evokovanie tranzitórnych reprezentácií v časti *Object rep* a nastavovanie kontextov v častiach *Episode context* a *Phase* (časť *Object rep.* striedavo obsahuje tranzitórnu reprezentáciu agenta a objektu, fázový generátor *Phase* zabezpečí, že v rámci každého kontextu nejde na vstup vyšších modulov signál z *WM episode* a *Object rep.* naraz, ale striedavo).

**Modul produkcie slov** (*word production network*) stelesňuje naučenú slovnú zásobu, teda zobrazenie z elementárnych významov na slová, nezávisle na gramatickom kontexte.

**Modul sekvenovania slov** (*word sequencing network*) stelesňuje osvojené povrchové závislosti vo forme prechodových pravdepodobností medzi slovami, teda kontextovo závislú slovnú zásobu. Tento modul je implementovaný ako jednoduchá rekurentná sieť (SRN) [5] a má kľúčovú úlohu v osvojení si povrchových syntaktických javov – idiémov a kolokácií. Kontextová závislosť je vďaka rekurentným/spätným spojeniam na skrytú vrstvu modulu, umožňujúcim kódovanie predchádzajúcej histórie vstupov.

Výstup modulov produkcie a sekvenovania sa kombinuje priemerovaním a reprezentuje slovo s príponou v podobe

premotorického artikulatórneho plánu. Dôležitou vlastnosťou modelu je, že takýto premotorický plán nie je vždy verbalizovaný (teda artikulovaný motorickou kôrou); keďže modul prehrávania epizód prehráva jednotlivé vetné členy viackrát, došlo by k opakovaniu aj na úrovni vety: preto sa model musí pre konkrétny jazyk naučiť, v ktorých fázach deiktickej rutiny treba premotorický plán inhibovať a kedy ho „pustiť“ do výstupného fonologického systému (*phonological output buffer*).

To je úlohou **riadiacej siete** (*control network*), ktorá dostáva vstup z epizodického kontextu a fázy prehrávania modulu prehrávania epizód (je teda slepá ku konkrétnemu sémantickému obsahu epizódy), a na výstupe dáva riadiaci signál inhibovať/prepustiť pre spojenie medzi premotorickým a motorickým systémom. Riadiaca sieť teda predstavuje zariadenie na osvojenie si abstraktných gramatických pravidiel – nastavenie parametrov pre slovosled jazyka (Tabuľka 2).

Idiomy – ustálené slovné spojenia majú tú vlastnosť, že po vygenerovaní prvého slova na základe príslušného sémantického signálu už vieme nasledujúce slová predikovať – doplniť celú idiomatickú frázu (napr. *Winnie ... the Pooh*). Na detekciu tohto javu slúži ďalší modul – **modul kontroly entropie** (*entropy network*). Jeho úlohou je inhibovať spojenie medzi premotorickým a motorickým systémom v prípade, že neistota/entropia

predikcie je priveľká (čo konkrétne numericky znamená priveľká, je práve úlohou tohto modulu, ktorý sa príslušné prahy adaptívne naučí). V praxi to funguje takto: začne sa prehrávanie v epizodickom systéme, až kým sa nedostane do fázy, ktorú neinhbuje riadiaca sieť. V tejto fáze sa pre aktuálnu sémantickú reprezentáciu vygeneruje príslušné slovo s koncovkou. Potom sa (bez zmeny vo vstupe z epizodického systému) vykoná ďalší dopredný chod, resp. predikcia modulov predikcie a sekvenovania slov. Vďaka citlivosti modulu sekvenovania slov na kontext, výstup siete môže byť iný aj pri nezmenenom vstupe. V prípade idiémov sieť predikuje nasledujúce slovo s istotou (malou entropiou) a modul kontroly entropie takéto slovo prepustí na výstup a generovanie pokračuje. V prípade pravidelných viet ďalšie slovo nemožno s istotou predpovedať, kým nepríde nový sémantický vstup z epizodického modulu. To sa prejaví veľkou entropiou, modul riadenia entropie výstup inhibuje a vydá signál epizodickému modulu na pokračovanie prehrávania. Modul kontroly entropie má významnú úlohu aj počas raných vývinových štádií – kým nie je dosiahnutá rozumná miera istoty v moduloch predikcie a sekvenovania slov, model negeneruje nezmysly, ale „mlčí“.

**Tab. 2.** Inhibičné vzorce pre jednotlivé slovosledy. Symbol „↓“ znamená prepustiť signál, symbol „–“ znamená inhibovať ho. C1 až C4 sú jednotlivé kontexty deiktickej rutiny. V rámci jedného kontextu sa strieda fáza a, v ktorej je na vstupe signál z tranzitorných objektových reprezentácií (buď agent AG, alebo objekt PAT) s fázou b, kedy je na vstupe reprezentácia akcie zo statického plánu (ACT). Tabuľka je prebratá z [15].

Poradie členov	C1a (AG)	C1b (ACT)	C2a (PAT)	C2b (ACT)	C3a (AG)	C3b (ACT)	C4a (PAT)
SVO	↓	↓	↓	–	–	–	–
SOV	↓	–	↓	↓	–	–	–
VSO	–	↓	–	–	↓	–	↓
VOS	–	↓	↓	–	↓	–	–
OSV	–	–	↓	–	↓	↓	–
OVS	–	–	↓	↓	↓	–	–

Celé doteraz opísané správanie si musí model osvojiť na základe tréningovej vzorky, ktorú predstavujú epizódy spárované s ich slovným opisom v cieľovom jazyku. Veta cieľového jazyka je uložená vo **vstupnej fonologickej vyrovnávacej pamäti** (*phonological input buffer*), odkiaľ sa slovo po slove prehráva v synchronizácii s prehrávaním epizódy. Správnu synchronizáciu sa však model musí naučiť sám na základe zhody medzi predikovanými výstupmi a skutočnými slovami vo

vstupnej fonologickej pamäti (*match* signál na Obr. 1). Aktuálny obsah vstupnej fonologickej pamäti zároveň slúži ako tréningový signál pre moduly predikcie a sekvenovania slov. Detaily tréningového algoritmu sú opísané v [15].

## 4 Experiment

Cieľom experimentu bolo ukázať, že navrhnutý výpočtový model možno natrénovať tak, že je schopný osvojiť si abstraktné gramatické pravidlo (záväzná poradie vetných členov) aj konkrétne idiémy cieľového jazyka, a bude schopný zovšeobecňovať aj na epizódy, ktoré neboli súčasťou tréningovej množiny.

### 4.1 Cieľové jazyky

Vytvorili sme šesť umelých jazykov pozostávajúcich z tranzitívnych viet. Jazyky mali tú istú slovnú zásobu a rôzne poradie slov: SOV, SVO, VSO, VOS, OVS, OSV (S znamená podmet/subjekt, O predmet/objekt a V prísudok/verbium). Slovnú zásobu každého jazyka tvorilo 105 najčastejších deťmi produkovaných anglických slov podľa *Child Development Inventory* (CDI) [7].

Z hľadiska idiomacity jazyky obsahovali tri typy viet:

1. syntakticky pravidelné vety, napr. *Mice bite dog*.
2. vety obsahujúce jednoduché idiémy,<sup>1</sup> napr. *Mia licks ice cream, You tickle Winnie the Pooh*.
3. vety obsahujúce idiémy prerušené mennou frázou, napr. *Grandpa gives grandma a hug*.

Celkový počet viet v každom jazyku bol cca 127000.

Z morfológie sme modelovali zhodu pádových prípon medzi podmetom a prísudkom, osobné zámená a nepravidelné množné čísla. Všetky slovesá boli v jednoduchom prítomnom čase.

Významy sme reprezentovali v súlade so štruktúrou deiktickej rutiny opísanou vyššie. Jednotlivé koncepty však nemali detailnejšiu štruktúru a boli modelované lokalisticky – teda jeden koncept, napr. MAMA, MACKO PU, POŠTEKLIŤ, bol reprezentovaný jedným neurónom. Tento spôsob reprezentácie konceptov neumožňuje modelovať javy ako sémantické parafázie, priming a podobne, od ktorých sme abstrahovali, rovnako ako od fonologicko-artikulačného spracovania (výstupom modelu boli vety zostavené zo slov v základných tvaroch s označením príslušnej pádovej prípony).

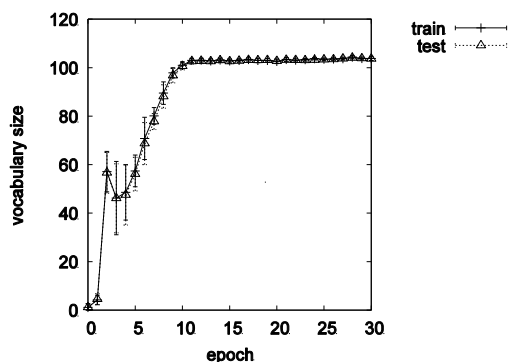
<sup>1</sup> Pod idiómom rozumieme viacsovné ustálené spojenie, ktoré kolektívne vyjadruje jeden význam.

## 4.2 Trénovanie a testovanie

Model sme testovali na vyššie opísaných umelých jazykoch, ktoré obsahovali gramaticky pravidelné aj idiomatické vety. Pre každý zo šiestich jazykov sme vytvorili 10 inštancií modelu, ktoré sa navzájom líšili iba (náhodne generovanými) počiatočnými hodnotami váh spojení. Každá inštancia modelu zodpovedá jednému konkrétnemu subjektu/človeku, ktorý sa učí daný jazyk. Keďže rôzni ľudia sú vystavení potenciálne rôznym vzorkám svojho materinského jazyka, každý subjekt bol vystavení inej pseudonáhodne<sup>2</sup> generovanej podmnožine svojho jazyka. Trénovacia množina obsahovala 4000 viet (spárovaných s epizódami), čo je cca 3% daného jazyka. Každý subjekt bol trénovaný 30 epoch, pričom po každej epoche boli dočasne zmrazené váhy modelu a schopnosť generovať vety bola testovaná na 4000 nových epizódach (teda takých, čo sa nevyskytli v trénovacej množine).

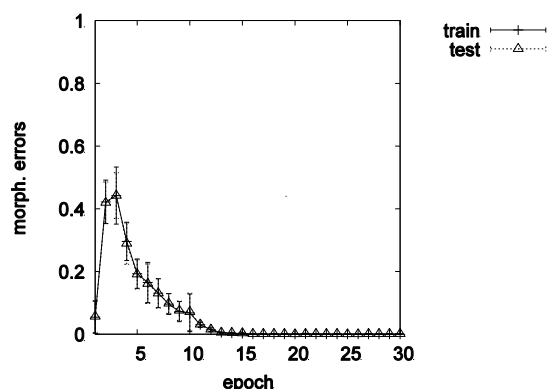
## 5 Výsledky

Všetky modely si boli schopné počas trénovania osvojiť správne abstraktné slovosledy, teda inhibičné vzorce svojho jazyka (Tabuľka 2). Všetky modely si osvojili úplnú slovnú zásobu (Obr. 2) a správnu morfológiu (Obr. 3), rovnako ako sa naučili generovať jednoduché aj prerušované idiomatické frázy (Obr. 4). Testovali sme aj celkovú správnosť generovania viet. Vetu sme považovali za správnu, ak bola bezchybná sémanticky, syntakticky aj morfológicky. Model dosiahol úspešnosť 96.6% na trénovacej množine (priemerované pre všetkých 6 jazykov a 10 subjektov z každého, SD=2.7%) a 94.1% (SD=4.3%) na testovacej. Vzhľadom na to, že bol trénovaný iba na cca 3% dát, má slušnú schopnosť zovšeobecňovať. Detaily a ďalšie výsledky sú v [16].

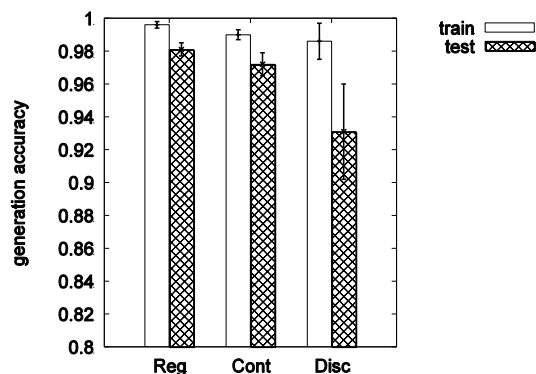


Obr. 2. Vývin slovnej zásoby (počtu používaných slov) po jednotlivých trénovacích epochách. Obrázok je prebratý z [16].

<sup>2</sup> So zachovaním pomeru počtu pravidelných a idiomatických viet.



Obr. 3. Relatívny počet morfológických chýb počas trénovania. Obrázok je prebratý z [16].



Obr. 4. Úspešnosť generovania podľa idiomatických typov: Reg – syntakticky pravidelné vety, Cont – vety obsahujúce iba neprerušované idiomatické frázy, Disc – vety obsahujúce idiomatické frázy prerušované mennou frázou. Obrázok je prebratý z [16].

## 6 Diskusia

Ukázali sme, ako si model založený na významoch v podobe senzomotorických sekvencií dokáže osvojiť abstraktnú aj povrchovú syntax na základe jazykovej vzorky. Senzomotorické sekvencie v nami navrhutej podobe veľmi dobre korešponujú so štruktúrou minimalistickej hĺbkovej reprezentácie – *logickej formy* [4].<sup>3</sup> Táto je podľa generatívnych lingvistov univerzálna,

<sup>3</sup> Argumentácia presahuje zameranie tohto článku. Čitateľ ju nájde v [10] a tiež [14], ktoré je rozšírenou verziou tohto článku.

a to, ako z nej vytvoríť jazykovo-špecifickú *povrchovú formu* – vetu konkrétneho jazyka, je dané nastavením konečnej množiny parametrov, ktoré sa deje počas ontogenézy.

Prezentovaný model predstavuje netradičnú a novátorskú kombináciu nativistických (napr. [12]) a empiristických (napr. [17]) prístupov. Z nativizmu preberá zobrazenie jazykovo nezávislej logickej formy na povrchovú sekvenciu slov nastavením diskretných parametrov (riadiaca sieť sa naučí, v ktorých fázach inhibovať verbalizáciu). Z empirizmu preberá to, že učenie syntaxe zahŕňa povrchové vzory, ktoré sa počas vývinu progresívne generalizujú, a tiež schopnosť produkovať idiómy. Výpočtový model ukazuje, ako je možné osvojiť si jazyk z komplexnej a zašumenej vzorky.

Reprezentácia významu ako sekvencie prináša originálne technické riešenie *binding* problému – teda problému obsadenia tematických rôl. Toto riešenie je založené na detailných poznatkoch o senzomotorických procesoch a je v súlade so stelesneným prístupom (napr. [2]) v kognitívnej vede.

Reinterpretácia Minimalistického modelu syntaxe ako modelu skutočného procesu generovania viet je radikálne nová. Umožňuje vysvetľovať pôvod jazykových univerzálií ako dôsledok všeľudsky spoločných vlastností senzomotorického systému (a nie jazykovo-špecifického modulu LAD). Veríme, že je dobrým odrazovým bodom pre ďalší výskumný program a odbornú diskusiu.

Ďalšími krokmi, ktoré by mali nasledovať, je rozšírenie sémantickej reprezentácie o ďalšie typy viet (nielen tranzitívne), otestovanie na reálnych jazykoch a rozšírenie modelu (ktorý momentálne pokrýva iba produkciu) o porozumenie jazyka.

## Pod'akovanie

Príspevok bol podporený grantmi BuildIT New Zealand a VEGA 1/0439/11.

## Literatúra

- [1] Ballard, D., Hayhoe, M., Pook, P., Rao, R.: Deictic codes for the embodiment of cognition. *Behavioral and Brain Sciences* 20 (1997) 723-767.
- [2] Barsalou, L.W.: Grounded cognition. *Annual Review of Psychology* 59 (2008) 617-645.
- [3] Chomsky, N.: *Rules and Representations*. Columbia University Press, New York, 1980.
- [4] Chomsky, N.: *The Minimalist Program*. MIT Press, Cambridge, MA, 1995.
- [5] Elman, J.: Finding structure in time. *Cognitive Science* 14 (1990) 179-211.

- [6] Elman, J.: Distributed representations, simple recurrent networks, and grammatical structure. *Machine Learning* 7 (1991) 195-225.
- [7] Fenson, L., Dale, P., Reznick, J. S., Thal, D., Bates, E., Hartung, J., Pethick, S., Reilly, J.: Variability in early communicative development. *Monographs of the Society for Research in Child Development* 59 (1994) i-185.
- [8] Fodor, J.A., Pylyshyn, Z.W.: Connectionism and cognitive architecture: A critical analysis. *Cognition* 28 (1988) 3-71.
- [9] Jackendoff, R.: *Foundations of Language: Brain, Meaning, Grammar, Evolution*. Oxford University Press, Oxford, 2002.
- [10] Knott, A.: Chomsky and embodied cognition: A sensorimotor interpretation of Minimalist Logical Form. In: *Proceedings of CogSci2011 – the 33rd Meeting of the Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Boston MA, 2011: 2621-2626.
- [11] Knott, A.: *Sensorimotor cognition and natural language syntax*. MIT Press, Cambridge, MA. Dostupné na [www.cs.otago.ac.nz/staff\\_priv/alik/publications.html](http://www.cs.otago.ac.nz/staff_priv/alik/publications.html), 2012.
- [12] Pinker, S.: *The language instinct*. New York, Morrow, 1994.
- [13] Rumelhart, D. E., Hinton, G. E., Williams, R. J.: Learning internal representations by error propagation. In: D. E. Rumelhart, J. L. McClelland (eds): *Parallel distributed processing: explorations in the microstructure of cognition, Vol. 1: Foundations*. MIT Press, Cambridge, MA, 1986: 318-362.
- [14] Takáč, M.: Jazykové univerzáliá a stelesnená kognícia. In: J. Rybár a kol.: *Kognitívne paradigmy*. Vydavateľstvo Európa, 2012.
- [15] Takac, M., Benuskova, L., Knott, A.: A connectionist model of language acquisition and sentence generation: Technical appendix. Technická správa OUCS-2011-03, Department of Computer Science, University of Otago, 2011.
- [16] Takac, M., Benuskova, L., Knott, A.: Mapping sensorimotor sequences to word sequences: A connectionist model of language acquisition and sentence generation. *Cognition*, v recenznom procese.
- [17] Tomasello, M.: *Constructing a Language: A Usage-Based Theory of Language Acquisition*. Harvard University Press, Cambridge MA, 2003.