Koevolučné modelovanie vzniku jazyka

Martin Takáč

Ústav informatiky FMFI UK, Mlynská dolina, 842 48 Bratislava
E-mail: takac@fmph.uniba.sk

Abstrakt. V tomto príspevku sa zamýšľame nad metodológiou modelovania vzniku jazyka a skúmame možnosti a limity existujúcich simulácií kultúrneho vývoja jazyka pri vysvetľovaní fenoménov ako vznik zdieľaného lexikónu, syntaxe, paradox chudobnosti lingvistického vstupu a kreolizácia. Navrhujeme koevolučný prístup, v ktorom sa pri zachovaní správnych časových vzťahov uplatňujú biologická evolúcia, individuálne učenie aj kultúrny prenos.

1. Úvod

Medzi vedcami skúmajúcimi jazyk (resp. ľudskú schopnosť používať jazyk) nie je zhoda v názore na to, ako vznikol. Hypotézy siahajú od biologického vysvetľovania prírodným výberom cez teórie o vedľajšom produkte vývoja mozgu až po nazeranie na jazyk ako na čisto kultúrny vynález. Vývoj jazyka je podľa nášho názoru mnohovrstevný fenomén odohrávajúci sa na viacerých časových škálach – ontogenetickej, fylogenetickej a historickej, pričom sa na ňom zúčastňujú viaceré mechanizmy – biologická evolúcia, individuálne učenie a kultúrny prenos. Skôr než sa budeme zamýšľať nad ich interakciou, zhrňme si, čo o nich vieme jednotlivo.

1.1. Ontogenéza: osvojovanie jazyka

Jedinec si v priebehu ontogenézy osvojuje jazyk učením. Pritom je známe, že:

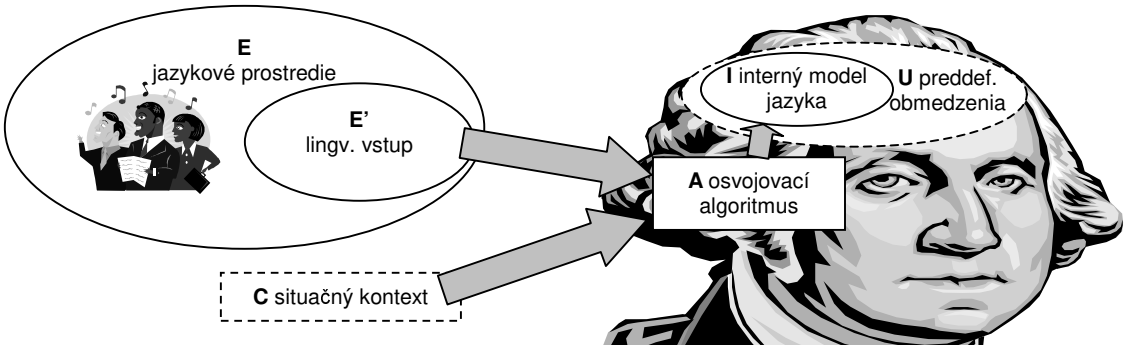
- Ak umiestnime dieťa do prostredia, kde sa hovorí iným jazykom, ako je jazyk jeho biologických rodičov, dieťa si bez problémov osvojí jazyk prostredia.
- V prvých mesiacoch života deti dokážu diskriminovať všetky fonetické kontrasty prirodzených jazykov. Okolo 10 mesiaca sa táto schopnosť stráca a dieťa sa „vyladí“ len na vnímanie fonetických kontrastov jazyka, ktorému je vystavené [19:641-2].
- Pre osvojenie jazyka existuje kritické obdobie – ak sa človek nenaučí jazyk do istého veku, po jeho uplynutí má problém zvládnuť jazyk na perfektnej úrovni. Extrémnym príkladom je prípad Genie [1], ktorá bola do svojich 13 rokov zatvorená v izolácii na tmavej povale bez akéhokoľvek lingvistického vstupu. Hoci jej inteligencia bola v norme, už sa nikdy nenaučila správne hovoriť napriek sústredeným pokusom naučiť ju jazyk. Jej jazykové schopnosti ostali zhruba na úrovni 2-ročného dieťaťa.
- U mnohých pacientov, ktorí v dôsledku mozgových lézií trpia afáziou, dochádza spontánne alebo systematickou rehabilitáciou k vymiznutiu alebo zmierneniu poruchy. Pritom sa predpokladá, že sa buď zotaví tkanivo (v blízkosti) poškodenej lokality alebo jeho funkciu prevezmú „zrkadlové“ oblasti v kôre druhej hemisféry [10:132].

Človek teda neprichádza na svet s „hotovým“ jazykom, ale sa ho učí v jazykovom prostredí, ktorému je vystavený, pričom najlepšie výsledky dosahuje v ranom veku, keď

je jeho mozgová kôra najplastickejšia. Formálnejšie vyjadrené, jedinec je vystavený jazykovému prostrediu E, ktoré predstavuje viditeľnú – externú formu jazyka v podobe viet, rozhovorov atď. (tzv. *E-jazyk* [3]). Osvojovaním jazyka E nazveme vytváranie jeho mentálnej reprezentácie[1] I (tzv. *I-jazyk* [3]) na základe konečného lingvistického vstupu $E' \subset E$.[2] I predstavuje jedincovu individuálnu znalosť jazyka a umožňuje mu parsovať a produkovať vety z E.

Dieťa si prakticky okamžite ako začne kombinovať slová do 2-3 slovných viet[3] začína osvojovať aj gramatické nuansy jazyka – kanonické poradie fráz, sémantické role atď., pričom vo veku 3-4 rokov prakticky zvláda gramatiku [12:86,19:435] a to aj bez negatívnych príkladov a korekčnej spätnej väzby[4]. Schopnosť dieťaťa osvojiť si z chudobného lingvistického vstupu komplexnú gramatiku jazyka, interpretovať vety, ktoré nikdy nepočulo a systematicky sa vyhýbať niektorým chybám, viedlo Chomského [2] k postulovaniu vrodenej univerzálnej gramatiky (UG) vymedzujúcej priestor možných jazykov a kódujúcej ich spoločné univerzálne črty (*princípy*) a modulu osvojovania jazyka (LAD) riadiaceho v priebehu ontogenézy nastavovanie hodnôt konečnej množiny *parametrov* špecifických pre jazyk, ktorému je dieťa vystavené.

Hoci sa názory na rozsah a podobu UG a LAD rôznia, isté je, že jedinec sa nerodí s hotovým jazykom, ale ani ako tabula rasa. Vrodené kognitívne predispozície, ktoré determinujú osvojovací proces, budeme v ďalšom texte metaforicky[5] nazývať *jazykový orgán*. Formálne ich označíme ako preddefinované obmedzenia U ohraničujúce možnú podobu I, $I \subset U$[6] a učiaci (osvojovací) algoritmus A, ktorý na základe vstupu E' a U vyprodukuje výstup I. Osvojovanie jazyka je potom proces $A: (E',U) \rightarrow I$ a prebieha na ontogenetickej časovej škále (obr. 1).



Obrázok 1. Osvojovanie jazyka.

[1] Ako táto reprezentácia vyzerá, nie je známe. V teoretických modeloch máva často podobu formálnych gramatík, asociačných tabuliek forma-význam alebo váhových konfigurácií umelých neurónových sietí.

[2] Presnejšie E' je množina dvojíc (e,c), kde $e \in E$ a c je kontext resp. situácia, v ktorej zaznela veta e.

[3] priemerne okolo 18 mesiacov [12:335]

[4] Dieťa dostáva korekčnú spätnú väzbu pri osvojovaní lexikónu („To nie je havo, ale koník."), ale len zriedkakedy ho opravujú pri chybách v gramatickej stavbe vety [13].

[5] Neuropsychologické štúdie ukazujú že na spracovaní reči/jazyka sa zúčastňuje mnoho rôznych oblastí mozgu, ktoré nie sú úzko špecifické iba pre jazyk, ale plnia aj iné funkcie [10:150-155,19:448-451]. Ukázali sa aj interlinguálne rozdiely – gramatika izolačných jazykov (s pevným poradím slov) kladie väčšie nároky na Brocovu oblasť, zatiaľ čo na spracovaní gramatiky flexívnych jazykov (s voľnejším poradím, predponami a príponami) sa viac podieľa Wernickeho oblasť [4].

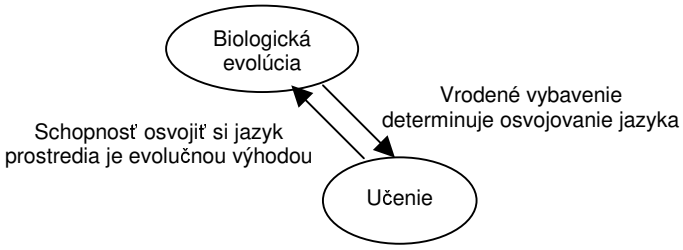
[6] Nemusí ísť o „tvrdé" ohraničenia definujúce množinu, ale o akési „defaulty", pravdepodobnostné očakávania, *learning bias* [13].

1.2. Fylogenéza: vývoj kognitívnych predispozícií

Väčšina komunikačných systémov zvierat je vrodených. V stereotypných situáciách, kde od rýchlosti reakcie môže závisieť prežitie, sú takéto systémy výhodné, preto sa v priebehu evolúcie mohli vyvinúť prírodným výberom. Nevýhodou vrodených systémov je to, že akákoľvek zmena si žiada modifikáciu geneticky kódovanej reprezentácie a časová škála takejto evolučnej zmeny je veľmi pomalá. Možnosť učiť sa poskytuje teda jedincovi potrebnú flexibilitu a schopnosť reagovať na rýchle zmeny v prostredí.

Učenie ale môže prinášať aj nevýhody, napr. neschopnosť reagovať adekvátne už od narodenia, riziko ohrozenia života pri nesprávnom pokuse, nutnosť investovať čas, energiu a zvládnuť osvojenie v limitovanom kritickom období, atď. Preto je výhodné, aby sa invariantné charakteristiky (jazykového) prostredia postupne „fosilizovali" – stali vrodenými, aby sa ich každý nový jedinec nemusel učiť nanovo. Tie charakteristiky, ktoré sú v jazykoch variabilné, je výhodné nefixovať geneticky, ale ponechať ich na učenie.

Takáto súhra evolúcie a učenia sa nazýva Baldwinov efekt, resp. genetická asimilácia. V procese vývoja jazyka by sa mohla[7] prejavovať tak, ako je to na obr. 2.



Obrázok 2. Interakcia učenia a biologickej evolúcie.

Vrodený jazykový orgán determinuje schopnosť jedinca osvojiť si jazyk, ktorému je vystavený. Schopnosť rýchlo a efektívne si osvojiť jazyk prostredia zvyšuje šance jedinca prežiť (fitness), čo spätne vedie k evolučnému výberu takých jazykových orgánov, ktoré najefektívnejšie umožňujú osvojenie si jazykov existujúceho jazykového prostredia.

Fitnes jedinca teda nie je statickou funkciou jeho jazykového orgánu (determinovaného genotypom), ale závisí aj od jazykového prostredia. Predstavme si, že sa v jazykovom prostredí, ktoré je z hľadiska komunikácie suboptimálne (napr. preto, že jazyk obsahuje priveľa homoným alebo je agramatický), vplyvom mutácie objaví jedinec schopný osvojiť si lepší jazyk. Akú výhodu mu to prináša? Z hľadiska prežitia je preňho dôležitejšie správne sa naučiť jazyk komunity, ktorej je členom, ako schopnosť osvojiť si a produkovať komunikačne optimálny jazyk. Smith [14] opisuje simulačný experiment, v ktorom na začiatku optimálny nehomonymný jazyk učiacich sa agentov v priebehu evolúcie degeneroval na komunikačne bezcenný plne homonymný[8] jazyk, pretože učenie prekrylo efekt génov, čím sa znemožnilo ich správne ohodnotenie v prírodnom výbere a prejavil sa genetický drift.[9]

---

[7] Avšak Yamauchi [18] tvrdí, že vývoj LAD pomocou Baldwinovho efektu je veľmi nepravdepodobný, vzhľadom na prítomnosť podmienok (epistáza, pleiotropia), ktoré výskyt Baldwinovho efektu potláčajú.

[8] Jazyk, v ktorom sa jediné slovo používa na vyjadrenie akéhokoľvek významu.

[9] Vplyvom tohto tzv. „efektu skupiny" na evolučnú dynamiku a vývoj syntaxe sa zaoberá [21].

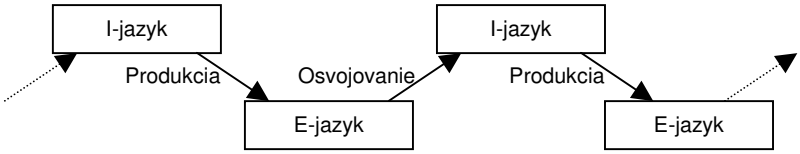
Funkčný tlak na optimalizáciu komunikácie teda v modeli zatiaľ chýba. Takisto sme zatiaľ nezohľadnili, že jazykové prostredie nie je fixné a dané vopred, ale sa tiež vyvíja. Oba tieto fakty teraz prepojíme.

1.3. Glosogenéza: historické premeny jazyka

Jazyk existuje v dvoch formách:

- **I-jazyk** – interná mentálna reprezentácia jazyka v mozgoch jedincov,
- **E-jazyk** – vyjadrený jazyk ako správanie jedincov v podobe výpovedí.

Interná mentálna reprezentácia jazyka nemôže byť prenášaná medzi jedincami priamo, ale len pomocou média – E-jazyka procesmi produkcie a osvojovania (obr. 3). Hoci jazyky vykazujú určitú stabilitu v čase, podliehajú kontinuálnym zmenám[10] v dôsledku stochastickej povahy týchto procesov[11] a postupnej výmeny členov populácie [16,17].



Obrázok 3. Prenos I-jazyka pomocou E-jazyka [8].

Pritom dochádza podľa Kirbyho [6] nielen k modifikáciám oboch foriem jazyka, ale aj k jeho komunikačnej optimalizácii: *„Ak jediný spôsob, akým je jazyk prenášaný z generácie na generáciu, je cez opakované produkovanie a parsovanie, tak forma jazyka, ktorá prežije tento proces, bude prirodzene adaptovaná na produkovanie a parsovanie.“* Hurford [5] tento proces premeny jazyka na historickej časovej škále nazval *glosogenéza* a my sa ním budeme podrobnejšie zaoberať v nasledujúcej časti.

2. Modelovanie glosogenézy

2.1. Samoorganizácia

Kedykoľvek je spolu dlhšie skupina ľudí, medzi ktorými je možná komunikácia a pre ktorých je komunikácia vzájomne výhodná, zákonite si vytvoria jazyk – príkladom sú pidgin[12] jazyky a spontánna emergencia znakovej reči v komunitách nepočujúcich. Podľa Steelsa [18] je jazyk komplexný adaptívny systém, ktorého globálna koherencia vzniká z lokálnych interakcií používateľov jazyka samoorganizáciou v dôsledku pozitívnej spätnej väzby – preferujú také jazykové konštrukty, ktoré boli úspešne používané (väčší úspech – častejšie použitie, častejšie použitie – väčší úspech).

Takéto experimenty väčšinou modelujú jazyk na úrovni zvieracích systémov volaní, ktoré nejdú veľmi ďalej od behavioristického „(elementárny) Podnet –

[10] Okrem nových slov sú to aj gramatické posuny, napr. nahradenie „shall“ za „will“ pri vyjadrovaní budúceho času v angličtine.
[11] napr. prítomnosť šumu, neistoty a náhodných inovácií
[12] Rudimentárny jazyk, ktorý sa vyvinie pri kontakte viacerých nezávislých jazykov, napr. jazyk otrokov na plantážach alebo jazyk, ktorý sa vyvinul pri občasných kontaktoch ruských a nórskych námorníkov.

(elementárna) Reakcia“. Ľudský jazyk je jedinečný v tom, že má syntax. Syntax umožňuje kombinovať konečnú množinu zmysluplných jednotiek na vyjadrenie neohraničenej množiny významov, hovoriť o udalostiach, ktoré sa dejú na iných miestach a v iných časoch, dovoľuje nám komunikovať kauzálne vzťahy, otázky a imperatívy a zdieľať do detailu minulé skúsenosti.

2.2. Iterované učenie

Kirby [8] v simulačných experimentoch založených na paradigme tzv. *iterovaného učenia* ukazuje, ako sa v populácii geneticky homogénnych jedincov môže na kultúrnom substráte vyvinúť kompozičný a rekurzívny jazyk s pevným poradím slov, vetnými členmi a slovnými druhmi.

Model pozostáva z dvoch agentov – „dospelého“ a „dieťaťa“ a štruktúrovanej množiny významov M. Dospelý dostane náhodnú množinu tém $M' \subset M$ a na základe svojho I-jazyka[13] vyprodukuje množinu výpovedí

$$L=\{(m,e) \mid m \in M', \text{ e sú vety E-jazyka (reťazce symbolov)}\},$$

ktorá je lingvistickým vstupom pre dieťa.[14] Keď si dieťa na základe L vytvorí svoj vlastný I-jazyk, stáva sa dospelým, pôvodný dospelý je nahradený novým dieťaťom bez I-jazyka a celý proces sa opakuje.

Príklady významov: *john, tiger, eats, fears, knows*, *fears(john, tiger), knows(john, eats(tiger, john))*

Príklad výpovede: <*eats(tiger,john)*, `tigereatsjohn`>

Osvojovací algoritmus:
1. pre každú dvojicu (m,e) vytvor holistické pravidlo S/*m* → `e`
2. vykonaj nad pravidlami možné zovšeobecnenia a vyhoď duplicitné pravidlá

Holistické pravidlo:
S/*eats(tiger, john)* → `tigereatsjohn`

Kompozičné pravidlá:
S/*p(x,y)* → N/*x* V/*p* N/*y*
V/*eats* → `eats`
N/*tiger* → `tiger`
N/*john* → `john`

Príklad zovšeobecnenia:

S/*eats(tiger, sausages)* → `tigereatssausages`
S/*eats(john, sausages)* → `johneatssausages`

⇒

S/*eats(x, sausages)* → N/*x* `eatssausages`
N/*tiger* → `tiger`
N/*john* → `john`

V počiatočnej fáze sa často používa invencia a gramatiky agentov sú tvorené výlučne holistickými pravidlami. Ak sa v invenciou vytvorenej vzorke náhodou vyskytnú podobné reťazce pre podobné významy, osvojovací algoritmus túto „regularitu“ zachytí zovšeobecnením do kompozičného pravidla. Neskôr – pri produkcii vzorky pre ďalšiu generáciu môžu byť použitím tohto pravidla vytvorené reťazce reflektujúce túto regularitu a tak sa môže šíriť ďalej.

[13] v podobe bezkontextovej gramatiky s neterminálmi rozšírenými o sémantické komponenty

[14] Algoritmus produkcie obsahuje invenciu – v prípade, že agent nevie z gramatiky odvodiť formu pre daný význam, odvodí formu pre najbližší podobný význam a komponenty zodpovedajúce rozdielom nahradí náhodnými reťazcami.

Jednotlivé pravidlá (sady pravidiel) – resp. nimi vygenerované formy vyjadrujúce ten istý význam, môžeme považovať za replikátory, ktoré budú medzi sebou súperiť. Úspech replikátora je priamo úmerný pravdepodobnosti, že sa forma objaví vo vstupnom E-jazyku pre učiaceho sa. Keďže dospelý produkuje lingvistickú vzorku len pre obmedzený počet významov ($M' \subset M$), pravidlo má tým väčšiu šancu, čím viac významov kóduje, čo zvýhodňuje kompozičné pravidlá pred holistickými. Takto sa v priebehu generácií v experimente vyvinie kompozičný jazyk. Chudobnosť lingvistického vstupu, tradičný argument nativistov, tak paradoxne nie je prekážkou vzniku syntaxe, ale jej nutnou podmienkou. Syntax je potom glosogentickou adaptáciou jazyka, aby bol naučiteľný aj cez zúžený profil chudobnosti lingvistického vstupu.

Kirby [7] sa pokúša odpovedať aj na ďalší argument nativistov – kreolizáciu.[15] Na rozdiel od experimentu, v ktorom agenty nemali na začiatku žiaden jazyk, sú teraz umiestnené do jazykového prostredia, kde existuje spoločný lexikón, ale absentujú gramatické javy (napr. sa používa náhodné poradie slov). Za takýchto podmienok agenty dokážu vytvoriť gramatický jazyk v priebehu jednej generácie.

2.3. Prínos a limity

Kirbyho experimenty sú dobrým modelom glosogenézy. Nie je v nich žiadna selekcia agentov na základe komunikačnej úspešnosti, noví jedinci sa rodia bez akejkoľvek znalosti jazyka, len s osvojovacím algoritmom, ktorý je u všetkých agentov rovnaký a v priebehu simulácie sa nevyvíja. Samotné syntaktické prvky jazyka pritom nie sú zabudované do nejakého jazykového orgánu, ale sú emergentnými vlastnosťami sociálnej dynamiky a štruktúry sémantického priestoru.

Model je samozrejme veľmi zjednodušený a nevysvetľuje fakty z historickej a komparatívnej lingvistiky. Významy, o ktorých agenty v experimente komunikovali, boli umelo vytvorené, vopred fixne dané a rovnaké pre všetkých agentov. Žiadalo by sa obohatiť experimenty o komplexnejšie formy mentálnych reprezentácii významov, umožniť ich formovanie a vývoj počas experimentu. Takisto je potrebné vytvoriť tlak na to, aby agenty komunikovali nielen o veciach tu a teraz (lebo na to im stačí systém volaní) napr. inkorporovaním potrieb, cieľov a plánovania do modelu.

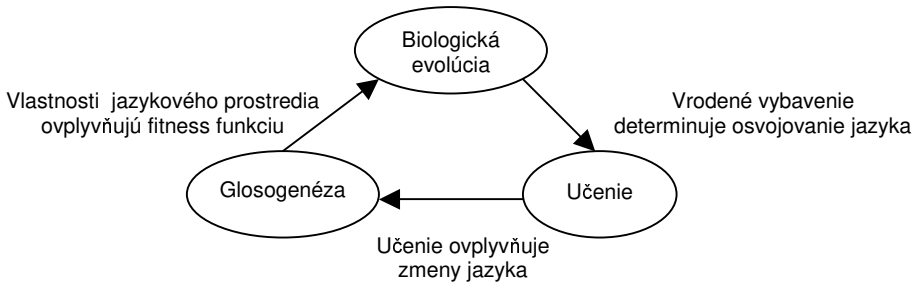
Naskytá sa aj otázka prečo rovnaká dynamika nefunguje aj u iných živočíchov – prečo sme jediný živočíšny druh s komplexným jazykom. Okrem už vyššie uvedenej výhrade o komplexnosti reprezentácie významov je v Kirbyho experimente ďalšie nereálne zjednodušenie – spolu so správou sa posiela aj jej význam. Tu môže byť skryté vysvetlenie: ľudský druh je jedinečný v možnostiach dedukovať význam z kontextu – má schopnosť čítať intenciu hovoriaceho (má teóriu mysle) a používa ďalšie kľúče (napr. taxonomické ohraničenia, zdieľanie pozornosti a zjednodušenú reč matky).

3. Koevolučný model

V predchádzajúcich častiach sme predstavili mechanizmy zúčastňujúce sa na vzniku a formovaní jazyka: individuálne osvojovanie jazyka, biologickú evolúciu jazykového orgánu a vývoj samotných jazykov. Obr. 4 schematicky znázorňuje ich vzájomnú interakciu. Interakcia je komplexná a nie veľmi preskúmaná, preto väčšina

[15] Kreolizácia je jav, ktorý vzniká v komunitách používateľov pidgin jazykov. Tieto majú zdieľaný lexikón, ale postrádajú syntax. Deti, ktoré sa narodili v pidgin jazykovom prostredí, hovorili na rozdiel od svojich rodičov jazykom s plnou syntaxou.

jestvujúcich modelov reflektuje skôr jednotlivé mechanizmy osobitne.[16]



Obrázok 4. Koevolučný model vývoja jazyka.

Pri zostavovaní koevolučného modelu treba pamätať na to, že všetky mechanizmy operujú na rádovo odlišných časových škálach. Jazyky sa glosogeneticky vyvíjajú rádovo rýchlejšie ako prebieha fylogenetická evolúcia mozgu. V komunite jedincov s jazykovými orgánmi na istom stupni fylogenetickej evolúcie sa môžu vyskytovať len jazyky istého typu.[17] V rámci týchto ohraničení prebieha glosogenetická adaptácia, čím sa mení jazykové prostredie. Dostatočne časovo stabilné charakteristiky jazykového prostredia (univerzálie) emergujúce z tejto glosogenetickej adaptácie zmenia povrch fitness funkcie (keďže súvisí aj so schopnosťou efektívne si osvojiť jazyk *prostredia*). To môže viesť k ďalšej evolúcii jazykového orgánu, čím sa umožnia nové typy glosogenetických adaptácií. Týmto spôsobom môže fylogenetická evolúcia „sledovať" glosogenézu na základe selekčného tlaku rýchlo sa učiť.

Správne časové vzťahy významne ovplyvňujú výsledok. V koevolučnom modeli [15] sa skúma, aké osvojovacie algoritmy sa v priebehu evolúcie presadia. Keďže priaznivý efekt genotypu kódujúceho algoritmus umožňujúci vybudovanie komunikačne optimálneho systému sa prejaví až po konvergencii populácie k takémuto systému, optimálne osvojovacie algoritmy sa v evolúcii nepresadia, ak je glosogenéza pomalá.[18]

V doméne kvalitatívneho usudzovania sa na modelovanie interakcie komplexných systémov vyvíjajúcich sa na odlišných časových škálach využíva *princíp časovej dekompozície* [11]: *„Ak je zložitý systém dekomponovateľný na mechanizmy operujúce vo veľmi odlišných časových škálach, potom možno z pohľadu nejakého mechanizmu vnímať všetky rýchlejšie mechanizmy ako okamžité a všetky pomalšie ako konštantné."* Systém sa dekomponuje na submodely pracujúce podľa tohto princípu, pričom výsledky simulácie pomalého mechanizmu sú zdrojom hodnôt exogénnych parametrov modelu rýchlejšieho systému.

Konkrétna aplikácia tohto princípu na modelovanie vzniku jazyka je témou na ďalšie skúmanie, pre začiatok ho možno využiť ako metodologickú abstrakciu tak, že v modeloch glosogenézy budeme považovať fylogenetické podmienky (napr.

---

[16] Výnimkou je model [9] simulujúci vývoj LAD podľa Chomského teórie *Princípov a Parametrov* a zahŕňajúci učenie, kultúrny prenos aj evolúciu. V modeli [15] sú zase komunikačné systémy reprezentované asociatívnymi sieťami, ktorých učiace pravidlo je determinované genómom podliehajúcim evolučnej selekcii na základe komunikačnej úspešnosti systému.

[17] Podľa Bickertona [1] pre jedincov typu *Homo erectus* bolo biologicky možné osvojiť si len triedu protojazykov. Celá glosogenéza moderných jazykov prebehla v rámci ohraničení daných genómom človeka dnešného typu [5].

[18] V článku sú opísané mechanizmy, ktoré glosogenézu urýchľujú – priestorové rozloženie populácie a viac učenia.

osvojovacie algoritmy agentov) za konštantné a v modeloch fylogenézy jazykového orgánu glosogenetickú adaptáciu za okamžitú.[19]

4. Zhrnutie

V príspevku sme sa zaoberali metodológiou modelovania vývoja jazyka. Poukázali sme na úlohu učenia, biologickej evolúcie a kultúrneho prenosu v procesoch prebiehajúcich v ontogenéze, fylogenéze a glosogenéze, pričom najväčšia pozornosť bola venovaná analýze možností kultúrneho prenosu. V závere opisujeme koevolučný prístup, zdôrazňujeme správne časové škálovanie a navrhujeme aplikovať princíp časovej dekompozície známy z kvalitatívneho modelovania.

Poďakovanie

Príspevok je súčasťou projektu podporovaného grantom VEGA 1/0172/03.

Literatúra

[1] Bickerton, D.: *Language and Species*. University of Chicago Press, 1990.
[2] Chomsky, N.: *Rules and Representations.* Columbia University Press, 1980.
[3] Chomsky, N.: *Knowledge of Language: its Nature, Origin and Use*, Praeger, 1986.
[4] Farkaš, I: Jazyk, mozog a evolúcia. In *Kognitívne vedy III*, zborník seminára CogSci'2000, CHTF STU, 2000.
[5] Hurford, J.: The Evolution of Language and Languages. In Dunbar et al. (eds): *The Evolution of Culture, Edinburgh University Press, 1999.*
[6] Kirby, S.: Fitnesss and the selective adaptation of language. In Hurford et al. (eds): *Approaches to the Evolution of Language - Social and Cognitive Bases*. Cambridge University Press, 1998.
[7] Kirby, S.: Language evolution without natural selection: From vocabulary to syntax in a population of learners, Technical Report, University of Edinburgh,1998.
[8] Kirby, S.: Learning, Bottlenecks and the Evolution of Recursive Syntax. In Briscoe (ed): *Linguistic Evolution through Language Acquisition: Formal and Computational Models*. Cambridge University Press, 2002.
[9] Kirby, S., Hurford, J.: Learning, culture and evolution in the origin of linguistic constraints. In Husbands, P., Harvey, I. (ed.), *4th European Conference on Artificial Life*, MIT Press, 1997.
[10] Koukolík, F.: *Lidský mozek: funkční systémy, norma a poruchy*, Portál, 2000.
[11] Kuipers, B.: Abstraction by time-scale in qualitative simulation. In *Proceedings of AAAI-87,* Morgan Kaufman, 1987.
[12] Langmeier, J., Krejčířová, D.: *Vývojová psychologie,* GRADA, 1998.
[13] Markman, E.: Constraints on word learning: Speculations about their origins and domain specificity. In Gunnar, Maratsos (eds.): *Modularity and constraints in language and cognition*, Hillsdale, 1992.

[19] Aproximujeme ju funkciou, ktorej vstupom sú fylogenetické podmienky a výstupom je komunikačne optimálny jazyk pre dané podmienky.

[14] Smith, K.: Learners are losers: Natural selection and learning in the evolution of communication, nepublikovaný rukopis, 2000.
[15] Smith, K.: The Importance of Rapid Cultural Convergence in the Evolution of Learned Symbolic Communication. In Kelemen, J., Sosík, P., (ed.), *ECAL01*, Springer, 2001.
[16] Steels, L., Kaplan, F.: Stochasticity as a source of innovation in language games. In Adami, C., Belew, R., Kitano, H., Taylor, C. (ed.): *Proceedings of Artificial Life VI*, MIT Press, 1998.
[17] Steels, L., Kaplan, F.: Spontaneous Lexicon Change, In *Proceedings of COLING-ACL*, 1998.
[18] Steels, L.: Language as a complex adaptive system. In *Proceeedings of PPSN-VI*, Springer Verlag, 2000.
[19] Wilson, R., Keil, F. (eds): *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences*, MIT Press, 1999.
[20] Yamauchi, H.: Evolution of the LAD & the Baldwin Effect, Master Thesis, University of Edinburgh, 1999.
[21] Zuidema, W. H., Hogeweg, P.: Selective advantages of syntactic language - a model study. In *Proceedings of the Twenty-second Annual Conference of the Cognitive Science Society*, Lawrence Erlbaum Associates, 2000.