

Általános Nyelvészeti
Tanulmányok
XXIX.

Alapító főszerkesztő: Telegdi Zsigmond 1963–1995 (I–XVIII.)

Alapító társszerkesztő: Szépe György 1964–1995

Főszerkesztő: Kiefer Ferenc 1998–2008 (XIX–XXII.)

Szerkesztőbizottság

Ackerman, Farrel (University of California at San Diego, CA, USA)

É. Kiss Katalin (MTA Nyelvtudományi Intézet, Budapest)

Hunyadi László (Debreceni Egyetem, Debrecen)

Kecskés István (State University of New York, Albany, NY, USA)

Kiefer Ferenc (tiszteletbeli tag) (MTA Nyelvtudományi Intézet, Budapest)

Lipták Anikó (Universiteit Leiden, Leiden, Hollandia)

Molnár Valéria (Universitet Lund, Lund, Svédország)

Moravcsik, Edith A. (University of Wisconsin-Milwaukee, Milwaukee, WI, USA)

Pléh Csaba (Közép-európai Egyetem, Budapest)

Sherwood, Peter A. (University of North Carolina, Chapel Hill, NC, USA)

Szabó Zoltán (Yale University, New Haven, CT, USA)

Vago, Robert M. (City University of New York, New York, NY, USA)

Technikai szerkesztő: Siptár Péter

Általános Nyelvészeti Tanulmányok XXIX.

Kísérletes nyelvészet

Főszerkesztő:

Kenesei István

Szerkesztette:

Bánréti Zoltán



AKADÉMIAI KIADÓ



**Magyar Tudományos
Akadémia**

A kiadvány a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával készült

ISBN 978 963 45 4072 4

Kiadja az Akadémiai Kiadó,
az 1795-ben alapított Magyar Könyvkiadók
és Könyvterjesztők Egyesülésének tagja
1117 Budapest, Prielle Kornélia u. 21–35.
www.akademiai.hu
Első magyar nyelvű kiadás: 2017

©Akadémiai Kiadó, 2017

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó Zrt. igazgatója
Felelős szerkesztő: Tárnok Irén
Termékmenedzser: Egri Róbert
A számítógépes szerkesztés G. Kiss Zoltán munkája
Kiadványszám: TK160062
Megjelent 38,43 (A/5) ív terjedelemben

HU ISSN 0569-1338

Minden jog fenntartva, beleértve a sokszorosítás, a nyilvános előadás, a rádió- és televízióadás, valamint a fordítás jogát, az egyes fejezeteket illetően is.

Printed in EU

Tartalomjegyzék

A kísérletes nyelvészetről és a kötet írásairól. Szerkesztői bevezetés 7

Nyelvleírási kérdések

Surányi Balázs – Madarász Levente

Az információszerkezet hatása a disztributív–kollektív többértelműség feloldására 23

Gyuris Beáta – Molnár Cecília Sarolta – Mády Katalin

A magyar eldöntendő kérdő mondatok használatának tanulmányozása kísérletes módszerekkel 53

Mády Katalin – Uwe D. Reichel – Szalontai Ádám

A prozódiai prominencia (nem-)jelölése a németben és a magyarban 77

Káldi Tamás – Babarczy Anna

A kontextus hatása a magyar preverbális fókusz értelmezésére: egy szemmozgás-követéses vizsgálat 99

Bíró Tamás

Optimalitáselmélet és gyorsbeszéd. Egy nyelvtanmodellről a beszéd modellezéséig, sőt a kísérletekig 127

Hunyadi László

A multimodális kommunikáció grammatikája felé. Szekvenciális események rekurzív hierarchikus struktúrája 155

Varga Vera – Perlusz Andrea – Csépe Valéria

A hangzó nyelv és a jelnyelv univerzális és specifikus jegyeinek empirikus feltárása a hazai és nemzetközi kutatások tükrében 183

Nyelvelsajátítás

Gervain Judit

Hogyan észlelik az újszülöttek a beszédet? Az újszülött agy nyelvi és beszédspecializációja 219

Winkler István – Lukács Ágnes

Beszédhangok észlelése csecsemőkorban: a statisztikai tanulás szerepe 235

Tauzin Tibor – Gergely György

Osztentív kommunikáció és pragmatikai következtetések preverbális csecsemőknél . . . 267

Pintér Lilla

A fókusz nélküli mondatok kimerítő értelmezése magyar anyanyelvű gyermekeknél és felnőtteknél 287

A mesterségesnyelvtan-elsajátítási paradigma alkalmazásai

Bánréti Zoltán – Pajkossy Péter – Kemény Ferenc – Zimmer Márta

Mesterséges nyelvtan elsajátítása – viselkedéses és szemmozgáskövetéses vizsgálatok
eredményei 305

Kemény Ferenc – Lukács Ágnes

Statisztikai tanulás és kicsiben kezdés specifikus nyelvfejlődési zavarban 339

Nyelvi zavarok

Kas Bence – Józsa Fruzsina

Birtokos morfológia használata a magyarban specifikus nyelvi zavart mutató és tipikusan
fejlődő gyerekeknél 359

Hoffmann Ildikó – Tóth László – Gosztolya Gábor – Szatlóczki Gréta –

Vincze Veronika – Kárpáti Eszter – Pákáski Magdolna – Kálmán János

Beszédfelismerés alapú eljárás az enyhe kognitív zavar automatikus felismerésére spontán
beszéd alapján 385

Mészáros Éva

A folyamatos és befejezett aspektus produkciója magyar agrammatikus afáziásoknál
(Esettanulmány) 407

Főszerkesztői utószó 429

Biró Tamás cikke olyan performanciamodellt vezet be, amelyben az algoritmusok rendelkezésére álló komputációs erőforrás mértéke változhat, lehet maximális, de kevesebb is. A modell szerint, ha az agyunk gyorsabban „számítja ki” a statikus kompetencia által grammatikusnak tartott alakot, akkor gyakrabban ejt hibát, vagyis produkál olyan lokális optimumot, amely globálisan nem optimális. A tanulmány bemutat egy, a gyorsbeszédre vonatkozó kísérleti paradigmát. A személyeknek szoftver vezérelte, kvízkérdéseknek „álcázott” feladatokban a dativusi (-nAk) és az inessivusi (-bAn) raggal ellátott, ingadozó harmonikus viselkedésű szavakat kellett produkálniuk. A kvízkérdéseket két verzióban is megkapták, egyszer – beépített módokon – sürgették a válaszok adását, majd – más feladat után – megismételték a kvízkérdéseket, de nem sürgették a válaszadást. Így kétszer mérték, hogy adott ingadozó tő esetén a rag melyik változatát használja a személy. Többször fordult elő, hogy egy alany a kísérlet első felében mély hangrendű toldalékot, a második felében viszont magas hangrendűt használt, mint ennek a megfordítottja. Az elől képzett allomorfolk képviselik a „grammatikus” választást (a nem sürgetett válaszoknál ők vannak többségben), és a hátul képzettek képviselik a performancia által produkált „lokális optimumok” (a sürgetett válaszoknál ők vannak többségben).

Hunyadi László tanulmánya a *HuComTech* korpusz annotált anyagából származó, szoftveresen elemzett példákon mutatja be a multimodális kommunikáció egyes mozzanatait. Alapfeltevése az, hogy a kommunikáció verbális és nem verbális komponensei együttműködő modulokat képeznek az általános kognitív kompetencia keretében. A szintaxis, a prozódia és a gesztusok egyaránt rendelkeznek absztrakt, modalitásfüggetlen szerkezetekkel, és ezeket mind a kognitív kompetencia olyan általános elvei vezérlik, mint a hierarchia és a rekurzió. Vagyis, hasonlóan a nyelv szintaxisához, a prozódia és a gesztusok absztrakt szerkezetei is hierarchiákban szerveződnek, amelyek a rekurzió elvét követik. A performancia a modalitások idő- és téraspektusait határozza meg. A prozódiában és a gesztusokban megfigyelhető szerkezeti opcionáltság a performancia szintjén létezik. A szerző végkövetkeztetése az, hogy a kompetencia szintjén a prozódia és a gesztusok absztrakt szerkezete csak akkor lesz jólformált, ha strukturálisan teljes. Ez utóbbi feltétel igaz a szintaxisra is azzal, hogy a performanciában megvalósuló szintaktikai szerkezetek éppúgy megengedik az opcionáltságot (a szintaktikailag hiányos szerkezeteket), mint a prozódia és a gesztusok szerkezetei. A hiányos szerkezetek pedig nem önmaguktól lesznek jólformáltak, hanem attól, hogy az adott modalitásban hiányzó szerkezeti elemeket más modalitások szerkezetei egészítik ki. Innen a szintaxis, a prozódiai és a gesztusok funkcionális ellentmondásmentességének lehetősége.

Optimalitáselmélet és gyorsbeszéd

Egy nyelvtanmodelltől a beszéd modellezéséig, sőt a kísérletekig¹

Bíró Tamás

ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, BTK Assziriológiai és Hebraisztikai Tanszék
biro.tamas@btk.elte.hu

Kivonat: A Chomsky [1965]-féle kompetencia és performancia közötti különbségtételt – Newmeyer [1983] szerint értelmezve – alkalmazom az optimalitáselméletre. Smolensky és Legendre [2006], valamint Bíró [2006] bevezetett egy performanciamodell, amely konnekcionista vagy szimbolikus harmónianyelvtanra, ill. optimalitáselméletre, mint kompetenciamodellekre épül. Ebben a *szimulált hőkezelés*nek nevezett eljárásban a globális optimum generálásának a valószínűsége csökken, ha kevesebb komputációs erőforrás áll az algoritmus rendelkezésére. A tanulmány második felében bemutatok egy kísérleti paradigmát, amelynek segítségével a gyorsbeszédre vonatkozó adatok nyerhetők ki, annak érdekében, hogy eldönthessük, mely alakokat kell a grammatikánknak grammatikusként előállítania. Végezetül a kísérletes kutatás folyamatára reflektálok a számítógépes nyelvész szemszögéből.

Kulcsszavak: optimalitáselmélet; gyorsbeszéd; szimulált hőkezelés; magánhangzó-harmónia; kvízkérdés-paradigma

1. Kompetencia és performancia

Noam Chomsky (1965, 3–4) a következőképp indította útjára a generatív nyelvelméletet:

Linguistic theory is concerned primarily with an ideal speaker-listener, in a completely homogeneous speech-community, who knows its language perfectly and is unaffected by such grammatically irrelevant conditions as memory limitations, distractions, shifts of attention and interest, and errors (random or characteristic) in applying his knowledge of the language in actual performance. [...] We thus make a fundamental distinction between competence (the speaker-hearer's knowledge of his language) and performance (the actual use of language in concrete situations).

¹ Jelen tanulmány elkészültét az Európai Unió 7. keretprogramján belül egy Marie Curie CIG ösztöndíj (PCIG14-GA-2013-631599, “MeMoLI”) tette lehetővé. A szerző köszönetét fejezi ki Hetényi Eszternek, aki a tanulmány második felében bemutatott kísérlet megtervezésében, kivitelezésében és kiértékelésében meghatározó részt vállalt; Mády Katalinnak, aki a kísérlethez használt hanganyag elkészítéséhez nyújtott segítséget; valamint egy anonim lektornak, aki számos hasznos javítással és tanáccsal járult hozzá a tanulmány végső szövegéhez. ORCID-azonosító: 0000-0002-8943-9276.

Chomsky szerint tehát a nyelvelmélettel foglalkozó elméleti nyelvész kutatásának a tárgya az idealizált anyanyelvi beszélő nyelvi kompetenciája, vagyis nyelvtudása. Chomsky az elméleti nyelvész érdeklődési köréből számúzi a performanciának, vagyis „a nyelv konkrét szituációkban történő használatának”, és ezen belül a különböző (általa részben felsorolt) okokból előforduló, „véletlenszerű vagy jellegzetes” hibáknak a vizsgálatát. De ki foglalkozzék ezekkel a jelenségekkel, ha nem a nyelvész?

A Chomskynál és a kognitív forradalom többi szerzőjénél gyakran előforduló *knowledge* 'tudás' szakkifejezést Jackendoff (2007, 27) teszi világossá, amikor szembeállítja a kései behavioristáknál a képességet kifejező *knowing how* kifejezéssel. Jackendoff a **funkcionális tudás** kifejezést ajánlja a Chomsky által a nyelvi kompetencia meghatározása során használt *tudás* pontosítására, hiszen az nem tudatosult, önmegfigyelés által nem hozzáférhető tudást jelöl. Utóbbit így írja körül: „whatever is in speakers' heads that enables them to speak and understand their native language(s).” De mi van a beszélő fejében, ha nem idegsejtek és ezek kapcsolódásai?

Chomsky és Jackendoff a **kognitív forradalom** meghatározó alakjai a nyelvészetben. A kognitív fordulatot „az agy mint számítógép” metafora fémjelezte (Daugman 2001 [1990], 32): az emberi elme egy adatfeldolgozó rendszer, amelynek megértése, a behavioristák fekete dobozának a feltörése volt a cél. Az agy (mint szerv), illetve az elme (mint az agy funkciója) az érzékszervek felől érkező bemenetek és a korábbról tárolt információk függvényében „számítja ki” a kimenetet (viselkedést), valamint módosítja magát a rendszert is (tanulás). Az emberi elme termékeit (térbeli tájékozódást, cselekedetsorok megtervezését, társas viselkedést, nyelvet, matematikát, művészeteket...) az agyat működtető „szoftver” határozza meg, utóbbi megfejtése révén értjük meg az előbbi jelenségeket. Pontosabban fogalmazva: a kognitív megközelítés – a történeti, társadalmi stb. szempontok helyett vagy mellett – az agy/elme struktúrájával kívánja magyarázni kutatása tárgyát.

A kognitív fordulat egy-egy tudományterületen – nyelvészetben, antropológiában, vallástudományban, zenetudományban, irodalomtudományban... – egyszerre két perspektívát emelt az előtérbe, mind a gondolkodásmód, mind a kutatási módszertan tekintetében: a biológiai és a számítási perspektívát (Biró 2014). A biológiai perspektíva pszichológiai, neurológiai, később evolúciós szempontokat hozott be, az ezekkel való foglalkozást emelte a fókuszba.² Számítási

²Természetesen ezek a megközelítések az 1960-as éveket megelőzően is léteztek, de kisebb figyelmet kaptak, mint a kognitív fordulat után. A nyelvvel kapcsolatos evolúciós kérdések felvetését pedig

perspektíván pedig absztrakt értelemben vett „számítást” értek, nem kizárólag számítógépen implementált modelleket. A két perspektíva kiegészíti egymást. Az agykutató alulról felfelé, az idegsejtek felől halad a kognitív funkciók felé, és azt kérdezi, mely agyterületek milyen módon működnek, amikor agyunk ezt vagy azt a feladatát végzi éppen. Ezzel ellentétes irányban haladunk a komputációs modellezés során: adott kognitív funkciót, a megfigyeléseink strukturális elemzését követően, „számításokká” bontunk le, amelyeket egy szilícium- vagy neuronalapú számítógép el tud elvileg végezni. A nyelvész a nyelvet, az antropológus a kultúrát, a valláskutató a vallást, a muzikológus pedig a zenét tekinti az emberi agy/elme szoftvere termékének. A végtermék elemzéséből igyekszünk megérteni magát a szoftvert, annak működését, belső felépítését, végső soron annak implementációját az idegsejtek milliárdjai által alkotott hálózatban.

Ennek a hálózatnak az állapota és működése nem választható el élesen egymástól. Ha tehát az emberi nyelv **tudása** ebben a hálózatban található meg, akkor a kompetencia (állapot) és a performancia (működés) összefügg egymással. Az a statikus tudás, amelyet nyelvi kompetenciának nevezünk, olyan struktúrákból (fonéma, morféma, szótag, frázis...) épül fel, amelyek – bízunk benne – leképeződnek a neurális szintre. (Így vagy úgy, esetleg nagyon áttételesen. De jelen pillanatban nem tudunk másból kiindulni, mint ezekből az adataink strukturális elemzése révén kapott, folyamatosan finomodó fogalmakból.) A statikus tudás ugyanezen neurális háló működése során, dinamikája révén válik nyelvhasználati, még hozzá a Chomsky által is említett „konkrét szituációkban”, „véletlenszerű vagy jellegzetes” hibákat produkálva.

A hibák vizsgálata sokat árul el a rendszerről. David Marr (1982) a kognitív rendszerek elemzése során három szintet különböztet meg: a **komputációs** szint a kognitív funkciót, mint leképezést írja le,³ az **algoritmikus** szint ezt a függvényt egy konkrét számítási eljárássá bontja le, míg az **implementációs** szint az eljárás egyes lépéseit elektroncsöveken, szilíciumcsipben, idegsejteken vagy épp abakuszon implementálja. Ha például a kognitív funkció a szorzás, az algoritmizálható ismételt összeadással, logarléccel vagy egy memorizált szorzótábla celláinak előhívásával is. Azonban a szorzás funkció különböző megvalósításai más és más hibamintázatot hoznak létre. A 6×8 művelet elvégzése során az ismételt összeadás eredménye lehet néha 47 vagy 49, ritkán 46 vagy 50. A szorzótábla használata során szomszédos cellákból előhívva származhatnak téves ered-

1866-ban kimondottan betiltotta a Francia Akadémia, és ez a tilalom lényegében az 1990-es évekig éreztette a hatását (Számadó–Szathmáry 2004).

³ Ezen a ponton az angol *function* szó két jelentését – 1. 'szerep, működés, rendeltetés', 2. 'matematikai függvény' – felvállaltan egybecsúsztatom.

mények: 42 vagy 56, de soha 47, mert az prímszám. A logarléc pedig adhat nem egész eredményt is: 48,2-t vagy 47,7-et. Ha tehát a célunk a mentális funkciótól, a komputációs szinttől eljutni az agyi implementációig, akkor az út az algoritmikus szinten keresztül vezet, amelyről viszont sokat elárulnak a hibamintázatok, azaz a **performanciahibák**.⁴

Összefoglalva: Chomsky 1965-ben azt javasolta a nyelvészeknek, hogy a kompetenciával foglalkozzanak (ugyanis „investigation of performance will proceed only so far as understanding of underlying competence permits”, Chomsky 1965, 10). Ekkor, talán utólag visszatekintve is elmondhatjuk, valóban hasznos stratégiával állt elő. Sokszor megtörténik a tudománytörténetben, hogy a fejlődés érdekében ignorálni kell a vizsgált jelenség látszólag nagyon fontos aspektusait annak érdekében, hogy le lehessen fektetni egy új paradigma alapjait. Ha ez sikerült, az eredetileg figyelmen kívül hagyott aspektusok vizsgálata sok esetben később lehetővé válhat. Vajon fejlődhetett volna a fizika, ha Galilei és Newton nem ignorálja a földi mozgások kutatása során a súrlódást és a közegellenállást (Kuhn 2000, 129)?⁵ Kifejlődhetett volna az euklideszi geometria, ha a korai „földmérők” nem tekintenek el a talaj egyenetlenségeitől? Cikkem első felében azt mutatom be, hogy negyven évvel Chomsky *Aspects*-e után hogyan talált vissza egy nyelvelmélet a performanciához. Majd az új megközelítés által felvetett kísérleti lehetőségekből mutatok be egy példát.

2. Az optimalitáselmélet mint kompetenciamodell

Jackendoff meghatározására visszatérve: mi található tehát a beszélő fejében? Tudás és neuronok. A nyelvi jelenségek megragadására a deskriptív, strukturalista, majd generatív iskolák számos fogalmat vezettek be: szófajok és szótagok, szegmentumok és predikátumok, képzők és jelzők a főszereplők a mai napig a hagyományos és modern nyelvtanokban. Az összekapcsolódó idegsejtek működését pedig, különösen a nyolcvanas évek óta, neurális hálókkal modellezték

⁴ Tanulmányomban nem játszik a továbbiakban szerepet, de fontos megjegyeznünk, hogy a különböző algoritmusok időigénye és memóriáigénye is eltérhet egymástól. Például ismételt összeadás esetén a 6×8 kiszámítása kétszer annyi időbe telhet, mint a 3×8 -é, míg szorzótáblából történő előhívás esetén egyforma sebességet jósunk. A szorzótábla eltávolítása viszont előzetes tanulást és szignifikáns háttérmemóriát igényel, szemben a jóval egyszerűbb ismételt összeadásal.

⁵ Everaert et al. (2010, 9) – Niaz (1999) alapján – szintén „Galilei-féle idealizálást” lát abban, ahogy a Piaget-féle episztemikus és pszichológiai alanyok közötti különbségtétel mintájára Chomsky bevezeti a kompetencia és a performancia különbségét.

(**konnekcionizmus**; vö. pl. Csépe et al. 2008, 150). Utóbbiak éppúgy absztrakciói a valódi agybeli biológiai folyamatoknak,⁶ mint ahogy egy-egy nyelv nyelvtana is csak közelítő leírása az adott nyelv komplexitásának.⁷ De tudományos kutatóként nincs más lehetőségünk, mint bízni abban, hogy a tudománynak nevezett kollektív **szukcesszív approximáció**, lassan bár, de mégis konvergál a világ megismerése és jobb megértése felé. Vagy kevésbé pozitivistá módon fogalmazva: valamilyen irányba (például „előre”) vezet bennünket.

Az optimalitáselmélet (OT, Prince–Smolensky 1993/2004)⁸ két atyja, Alan Prince és Paul Smolensky, két, nagyon különböző irányból érkezett ahhoz az asztalhoz, amelynél állítólag az optimalitáselmélet megszületett. Paul Smolensky, miután matematikai fizikából szerzett doktori fokozatot, a nyolcvanas évekbeli konnekcionizmus bölcsőjétől, Rumelhart és McClelland tanítványaként indult el, a *Parallel Distributed Processing* (PDP, 'párhuzamos megosztott feldolgozás') projektben (Rumelhart et al. 1986; McClelland et al. 1986). Ezzel szemben Alan Prince, aki a generatív fonológia egyik meghatározó alakjává vált a nyolcvanas évekre, a fonológián kívül azzal a Steven Pinkerrel közösen jegyzett cikkel szerzett hírnevet, amelyben éppen a PDP-modellt kritizálták (Pinker–Prince 1988), elindítva a *past tense debate* címszó alatt a mai napig hatását kifejtő vitát (Pinker 2006).

Hogyan ülhetek le mégis egy asztalhoz, hogyan születhetett az együttműködésükből egy, a mai napig rendkívül népszerű elmélet? A nyelvészeti elemzés, mint láttuk, nyelvészeti fogalmakat vezet be, és a kognitív/generatív fordulat óta ezen fogalmak segítségével képzeljük el az elméleti szoftver működését. A konnekcionista **komputációs kognitív tudomány** ezzel szemben a neurális hálókkal történő számítás lehetőségét kutatja.⁹ E kettő összekapcsolását tűzte ki célul Paul Smolensky abban a kutatási programban, amely a *The harmonic mind* c. művé-

⁶ Az eredetileg fizikus végzettségű Paul Smolensky egy 2004-ben Amszterdamban tartott workshopon úgy fogalmazott, hogy az általa javasolt neurális komputációs modelleket tekintjük olyanoknak, mint amilyenek az ideális rugók és a matematikai ingák a fizikában: egy első approximációnak a jóval komplexebb valóság leírásához.

⁷ „At all times, keep in mind the truth about [...] all of linguistics. Nothing is real except the raw facts of the language, the words people say, the scratchings on the rock. All linguistic analysis is fiction or educated guess; all linguistic description is a more-or-less simplified and distorted mapping of the complexities of speech on a sheet of paper” (Bennett 1998, 67).

⁸ Magyarul: pl. Bocz (1995), Rebrus (2001).

⁹ A *computational cognitive science* kifejezést szándékosan nem fordítom számítógépesnek, mivel – mint arra korábban már utaltam – nincs annak jelentősége, hogy a tárgyalt formális modellek, számítási eljárások, algoritmusok történetesen szilíciumalapú számítógépeken is implementálhatók-e. Arra, hogy az angol *computational* szó a *computation* szóból, nem pedig a *computer*-ből származik, John Nerbonne hívta fel a figyelmemet, a *computational linguistics* kifejezés értelmezése kapcsán.

ben (2006) és az ICS (*Integrated Connectionist/Symbolic*) kognitív architektúrában csúcsondott ki. Ha a Prince és más nyelvészek – fonológusok, morfológusok, szintakták, szemanták... – által kifejlesztett fogalmakat, nyelvészeti elemzéseket neurális hálón reprezentálni tudjuk, akkor Smolensky bemutatja, hogy miként lehet velük – „párhuzamos megosztott feldolgozás” révén – az agybeli számításokat szimulálni.

A neurális hálók egy jelentős csoportja **optimalizációt** végez: azt a saját állapotát keresi, amely a rögzített bemenet mellett a legnagyobb „harmóniának” vagy legkisebb „energiának” felel meg,¹⁰ majd ezen állapot határozza meg a kimenetet. A neurális hálók csomópontjai, „neuronjai” egy részén beállítjuk a bemenetet, például egy IPA-val megadott jelsorozatot. Majd az „aktiváció” tovaterjed a kapcsolatok mentén, az egész háló fokozatosan beáll egy optimális állapotba, és ekkor a kimenetnek megfelelő csomópontokon leolvasható az output. Az emberi agy ezen modellje tehát azt a kimenetet generálja, amely a bemenetnek megfelelő lehetőségek közül optimális. Visszafordítva ezt a gondolatot a nyelvészek nyelvére: az adott nyelv grammatikus alakja az az alak lesz, amely „optimális” a bemenetnek (például a szintaktikai *kiinduló szerkezetnek* vagy a fonológiai *kiinduló ábrázolásnak*, *mögöttes ábrázolásnak*, *mögöttes ábrázolatnak*, *szótári ábrázolásnak*¹¹) megfelelő lehetőségek, az ún. „jelöltek” (*candidates*) közül.

Azt a kérdést, hogy mi határozza meg az optimalitást, nagyvonalúan tegyük félre egy pillanatra, és előbb értsük meg, milyen módon modellálja ez a megközelítés a nyelvi kompetenciát. A klasszikus generatív fonológiában (Chomsky–Halle 1968) a lexikonból származó mögöttes ábrázolást (*underlying representation*) környezetfüggő újrainró szabályok sorozata alakítja át felszíni ábrázolássá (*surface representation*). Ebben a megközelítésben tehát a szabályok és azok rendezése alkotja a nyelvismeretet (**kompetenciát**, a jackendoffi **funkcionális tudást**). A klasszikus generatív szintaxisban a kiinduló ábrázolást létrehozó környezetfüggetlen szabályrendszer, valamint az ennek eredményét transzformáló szabályok, mozgatások

Utóbbi ezért tágabb értelmű, mint a magyar *számítógépes nyelvészet* kifejezés. Így például jelen tanulmányom több szakasza is *computational*, de nem *számítógépes* jellegű.

¹⁰ Míg az optimalitáselméleti szakirodalomban szinte kizárólag a harmónia **maximalizálásáról** esik szó, addig a konnekcionista rendszerek háttérül szolgáló fizikai modellekben az energiát **minimalizálni** kell. A kettő között egy negatív előjellel kapcsolatot teremthetünk, és az OT-nyelvész sem tesz mást, mint **minimalizálja** az OT-táblázatokban csillagokkal megjelölt „hibapontokat”. A továbbiakban is használni fogom mindkét perspektívát. Az „optimalizálás” kifejezés elfedi a minimalizálás és a maximalizálás közötti különbséget, és csupán annyit feltételez, hogy létezik egy kitüntetett „jó” irány és egy azzal ellentétes „rossz” irány.

¹¹ É. Kiss–Szabolcsi 1992, 31; Kiefer 1994, 32; Nádasy–Siptár 1994, 48; Siptár 1994, 183 stb.; Szigetvári 2001, 38; Rebrus 2001, 79.

töltik be ugyanezt a funkciót. (Később néhány paraméterre redukálódik a nyelvtudás, és ezek a paraméterek fogják meghatározni a szabályok és mozgatások jellegét.) Két nyelv nyelvtana – (morfo-)fonológiája, illetve szintaxisa – akkor tér el egymástól, ha bennük más szabályok működnek, vagy ha ezek a szabályok más sorrendben hatnak. Egy nyelv **elsajátítása** során a szabályok alakját, sorrendjét, avagy a szabályokat meghatározó paraméterek értékét kell elsajátítani – ezek alkotják a nyelvi **kompetenciát**. Egy alak akkor **grammatikus** valamely nyelvben, ha megfelel ezeknek a szabályoknak az adott nyelvben.

Az optimalitáselméletben a szabályok helyét két modul veszi át: a **generátor** függvény, amely a bemenethez a jelöltek egy halmazát rendeli, valamint az **evaluátor** (kiértékelő) függvény, amely a jelöltek halmazából kiválasztja az optimális elemet. Az evaluátor függvény egyszerű elemi függvényekből áll, amelyek egy-egy jelölt (potenciális felszíni alak¹²) jóságát értékeli. Ezeket az értékelő függvényeket történeti okok miatt *constraint*eknek (a magyar szakirodalomban **megszorítások**-nak vagy **korlátok**nak) nevezzük. Két nyelvben eltérhet egymástól a generátor, a *constraint*ek halmaza, valamint az a kombinációs mód, ahogy a *constraint*ek az evaluátort alkotják. (A *mainstream* OT-ben az előbbi kettőt univerzálisnak feltételezik, de ezt a véleményt nem szükséges mindenkinek osztania.) Ezt a hármat kell tehát a nyelvtanulónak **elsajátítania**, és ebből a háromból áll a nyelvi **kompetencia**. Egy felszíni alak akkor **grammatikus** valamely nyelvben, ha a generátor kimeneteléből az evaluátor az adott alakot választja ki optimálisként. Pontosabban fogalmazva: egy (*input* \mapsto *output*) leképezés (például mögöttes alak leképezése felszíni alakra) akkor grammatikus, ha az adott bemenetből generált halmaz optimális eleme éppen az adott kimenet.

Vegyük észre, hogy – Newmeyer (1983, 51) felfogásához hasonló módon, de talán szembemenve a legerterjedtebb megközelítéssel – **grammatikalitáson** nem egy primer nyelvi tényt értek. Nem az anyanyelvi beszélő dönti el, hogy mely alak grammatikus, hanem az anyanyelvi beszélő nyelvi kompetenciáját modellező elmélet (grammatika). Chomsky hangsúlyozta, hogy a mentális nyelvtan (a nyelvtudás szabályai) introspekcióval nem elérhetőek az anyanyelvi beszélő számára, de a grammatikalitási döntést meghagyta az anyanyelvi beszélő kompetenciájában (*pun intended*). Ezzel szemben – Newmeyerhez hasonlóan – az alábbiakban a grammatikalitásról éppúgy nem feltételezzük, hogy introspekcióval

¹² Rövidesen meg fogom különböztetni a felszíni alakot (*surface form*) a jelölttől (*candidate*). A jelölt ugyanis sok esetben a mögöttes alak és a felszíni alak által alkotott rendezett pár, vagy ennél még komplexebb struktúra. Például a két alak közötti megfeleltetési relációt is tartalmazhatja (McCarthy–Prince 1995), vagy több mint két alak kombinációját is jelentheti (Boersma 2011). Ezen a ponton azonban e két fogalmat még szinonimaként kezelem.

meghatározható, mint ahogy a mentális nyelvtanról sem feltételezzük ezt. A valóban megfigyelhető nyelvi tények – a korpuszbeli előfordulás (*attestedness*) vagy az introspekcióval meghatározható elfogadhatóság (a Chomsky által szintén említett *acceptability*) – csupán összefüggenek, de nem azonosak a grammatikalitással.

A Chomsky-féle idealizált anyanyelvi beszélő mentális nyelvtana adott bemenethez egyetlen alakot fog hozzárendelni: ez az egy alak fog a tőle származó korpuszban előfordulni, és ez az egy alak lesz számára elfogadható. Nyelvészként az a feladatunk, hogy az ő nyelvi tudását, anyanyelvi kompetenciáját úgy modellezzük, hogy a mentális nyelvtanát visszaadó grammatikánk éppen ezt az egy alakot tegye meg grammatikusnak. De persze a helyzet nem mindig vegytiszta.

3. Performanciamodell az optimalitáselmülethez

A helyzet nem mindig „vegytiszta”: a kémcsőben sem kizárólag azok a vegyületek találhatóak meg, amelyeket a vegyész papírra vet képlet formájában. Az elfogadhatóság (*acceptability*) sem fekete vagy fehér, hanem folytonos skálán helyezkedik el, ezt még Chomsky (1965, 10–11) is elismeri. Ami pedig az anyanyelvi beszélőtől származó korpuszt illeti, ott egy **performanciamintázatot** figyelhetünk meg. Előreutalva a tanulmányom második felében tárgyalandó példára, gondoljunk a magyar magánhangzó-harmónia szempontjából ingadozó (vagy „vacilláló”) tövek – például *hotelban* ~ *hotelben*, *fotelban* ~ *fotelben* – valamely korpuszbeli eloszlására.¹³

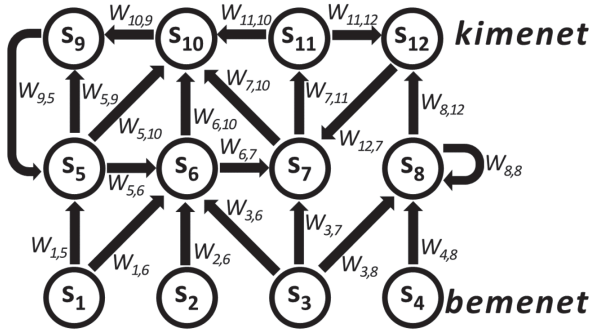
Az elfogadhatóság fokozatos jellegére a továbbiakban nem térünk vissza. Célnk a performanciamintázatok reprodukálása, azaz magyarázata¹⁴ lesz: miért generálja az anyanyelvi beszélő agya hol a *hotelban*, hol pedig a *hotelben* alakot? A hangsúly az intraindividuális variáción, nem pedig az interindividuális variáción lesz, vagyis a mentális nyelvtan olyan modelljeit keressük, amelyek lehetővé teszik azt, hogy egyetlen beszélő is több változatot produkáljon. Ezen a ponton válik szükségessé az, hogy visszatérjünk arra a kérdésre, hogy hogyan is határozza meg az optimalitáselmélet az optimális alakot.

Kezdjük a konnekcionista modellel, amely egy **Boltzmann-gép**. (A matematikai részleteket a matematikában kevésbé járatos olvasó bátran átugorhatja.) Egy

¹³ Így a *Szószaablya* korpuszban (Halácsy et al. 2004) a *hotelban* ~ *hotelben* előfordulási aránya 427 ~ 1378 (azaz közel 25% ~ 75%), míg ez az eloszlás a *fotelban* ~ *fotelben* esetén fele-fele (374 ~ 376).

¹⁴ “Perhaps one day people will interpret the question, ‘Can you explain it?’ as asking ‘Can you grow it?’” (Epstein 2006, xi, társadalomtudományi szimulációk kapcsán; kiemelés az eredetiben).

neurális háló N csomópontból és ezek kapcsolataiból áll (1. ábra). Jelölje s_i az i -ik csomópont aktivációját (ahol $i = 1 \dots N$), míg W_{ij} az i -ik és j -ik nódus közötti kapcsolat erősségét.¹⁵ A teljes háló maximalizálandó „harmóniáját” vagy minimalizálandó „energiáját” a következő összeg adja meg: $H = \sum_{i,j=1}^N s_i \cdot W_{ij} \cdot s_j$. Vagyis minden egyes kapcsolat mentén összeszorozzuk a két csomópont aktivációját a kapcsolat erősségével, majd ezeket a szorzatokat összeadjuk.



1. ábra: Példa neurális hálóra $N = 12$ csomóponttal, egy bemeneti (s_1, \dots, s_4), egy rejtett (s_5, \dots, s_8) és egy kimeneti (s_9, \dots, s_{12}) réteggel, valamint az i -ik nódusból a j -ik nódusba tartó W_{ij} kapcsolatok feltüntetésével

Mint korábban már említettem, a csomópontok egyik része a bemenetnek felel meg, egy másik csoportja a kimenetnek. A közbülső nódusok („rejtett réteg[ek]”, ha rétegesen helyezzük el a neuronokat) pedig olyan strukturális információt kódolhatnak, például a prozódiai vagy szintaktikai szerkezetre vonatkozóan, amely sem a bemeneten, sem a kimeneten nem jelenik meg, de fontos a grammatikus alak meghatározása szempontjából. Így a teljes háló $A = (s_1, \dots, s_N)$ aktivációs állapota felel meg a szimbolikus OT-ből ismert **jelölt** (azaz *candidate*) fogalmának, amely magában tartalmazza a bemenetet, a kimenetet, és esetleg további információt is.¹⁶

A C_k **megszorítás** (avagy *constraint*) a konnekcionista megközelítésben részleges kapcsolaterősségek (W_{ij}^k) $_{i,j=1}^N$ együttese. (Itt $k = 1 \dots n$, ahol n a megszorítások száma.) A C_k megszorítás w_k súlya adja a megszorítás erősségét, OT-beli rendezését. A részleges kapcsolaterősségek ezen súlyok segítségével adódnak össze a hálóbeli kapcsolatokká: $W^{i,j} = \sum_{k=1}^n w_k \cdot W_{ij}^k$. Következésképpen az (s_1, \dots, s_N)

¹⁵ Ha két csomópont közt nincs kapcsolat, akkor a köztük lévő kapcsolat erősségének értéke nulla. A továbbiakban néhány matematikai részlettel eltekintek. Így például gyakran kicsit más formában írják fel a Boltzmann-gép energiáját, és ekkor a W_{ij} értékeit meg kell kétszerezni.

¹⁶ Vö. a 12. lábjegyzettel.

aktivációs állapottal jellemezhető A jelölt harmóniája (vagy negatív energiája) az alábbi formában írható fel:

$$H(A) = \sum_{i,j=1}^N s_i \cdot W_{ij} \cdot s_j = \sum_{i,j=1}^N s_i \cdot \sum_{k=1}^n w_k \cdot W_{ij}^k \cdot s_j = \sum_{k=1}^n w_k \cdot \sum_{i,j=1}^N s_i \cdot W_{ij}^k \cdot s_j = \sum_{k=1}^n w_k \cdot C_k[A].$$

Itt tehát $C_k[A] = \sum_{i,j=1}^N s_i \cdot W_{ij}^k \cdot s_j$ nem más, mint a megszorítás által az $A = (s_1, \dots, s_N)$ jelölthöz rendelt „büntetőpontok” értékének (az OT-táblázat megfelelő céljában található csillagok számának) a -1 -szerese. Ezeknek a súlyozott összege – a C_k megszorítás súlya w_k – adja az A jelölt $H(A)$ „jóságát”, harmóniáját, amelyet a neurális háló (rövidesen vázlatosan bemutatandó módon) optimalizál.

Így jutunk el a konnekcionista modellektől – azon belül az ún. Boltzmann-gépektől – a kortárs fonológiában elterjedt szimbolikus harmónianyelvtanokig. Egy további lépés vezet az optimalitáselmülethez: ha a w_k súlyok kellően gyorsan nőnek – például egy q^k mértani sorozat szerint, ahol q nagyobb, mint az egyes megszorítások által adható csillagok száma ($C_k[A] \leq q - 1$ minden A -ra és k -ra) –, akkor teljesül az OT-beli „szigorú dominancia” (*strict domination*) elve.

Az „univerzális nyelvten” rögzíti a megszorítások halmazát (konnekcionista megközelítésben: a hálózat alapszerkezetét és a W_{ij}^k értékeket). A nyelvészajátítás során a tanuló OT-ben megtalálja a megszorítások helyes rendezését, szimbolikus és konnekcionista harmónianyelvtanban pedig meghatározza a *constraintek* w_k súlyait. Ezzel eljutunk a nyelvi kompetenciához, vagyis ahhoz a statikus tudáshoz, amelyet az agybéli neuronok közötti szinoptikus kapcsolatok kódolnak – illetve a szinoptikus kapcsolatok modelljéhez, a W_{ij} értékekhez.¹⁷ Ebben a nyelvtenmodellben adott bemenethez bizonyos jelöltek (a konnekcionista megközelítésben: bizonyos aktivációs állapotok) lesznek optimálisak. Ezeket nevezzük **grammatikus jelölteknek**.

A statikus kompetencia tehát meghatározza, hogy mely alakok grammatikusak. Ezeket azonban meg kell találni. Bár a nyelvész és a matematikus képes rendkívül kreatív eszközökkel fellelni a formalizmust optimalizáló megoldást, az agyműködés modellezéséhez automatikusan működtethető eljárásokra, algoritmusokra van szükség.

¹⁷ Nem szükségszerű, hogy modellünk egy-az-egyhez kapcsolatot feltételezzon az agyban található neuronok és a neurális modell nódusai között. Elképzelhető, hogy a neurális modell, amely a Marr-féle hierarchiában a középső, algoritmikus szintnek felel meg, úgy implementálódik az agyban, hogy egy-egy nódust idegsejteknek egy nagyobb csoportja valósít meg. Sőt még akkor sem tartom elhibáztottnak a konnekcionista algoritmusok kutatását, ha azok csupán közelítik matematikai értelemben, de nem adják pontos funkcionális leírását a valódi neuronok működésének.

Az optimalizációt végző neurális hálók bemutatott csoportja, a Boltzmann-gépek egy ún. **szimulált hőkezelés** (*szimulált lehűtés, simulated annealing*) nevű eljárást alkalmaznak. Ennek a megközelítésnek a lényege az, hogy véletlenszerűen változtatja az egyes csomópontok aktivációs szintjeit: a változás valószínű, ha ezzel a rendszer harmóniája javul, de kevésbé valószínű, ha az optimalizálandó célfüggvény értéke ezzel a változtatással rosszabbodik. Utóbbi valószínűség idővel is változik: ahogy fut az algoritmus, úgy csökken. Az analógiaként szolgáló fizikai jelenség után **hőmérsékletnek** nevezett absztrakt paraméter értékét az algoritmus fokozatosan csökkenti, és ahogy ez csökken, úgy csökken annak a valószínűsége is, hogy a hálózat harmóniája távolodik az optimumtól.¹⁸

A szimulált hőkezelés gondolatát szimbolikus OT-re alkalmazva a következő eljárást kapjuk (*Simulated Annealing for Optimality Theory Algorithm, SA-OT*; részletesebben l. pl. Bíró 2005a; 2006; 2007):

1. A jelöltek halmazának egyik eleméből elindítunk egy **véletlen bolyongást**. Ezt a kezdeti pozíciót véletlenszerűen vagy valamilyen elv alapján választjuk ki.
2. A jelöltek halmazán előzetesen definiáltunk egy szomszédsági struktúrát (topológiát), például úgy, hogy két jelölt akkor és csak akkor szomszédos, ha azok – az adott nyelvészeti jelenség fogalmi segítségével egzakt formában meghatározott módon – minimálisan különböznek egymástól. A véletlen bolyongó ezen a szomszédsági struktúrán halad.
3. A bolyongás egy-egy iterációja során a bolyongó jelenlegi pozícióját vetjük össze egy véletlenszerűen kiválasztott, de mindenképpen szomszédos pozícióval. Másképp fogalmazva: a memóriában jelenleg elraktározott OT-jelöltet egy tőle minimálisan különböző jelölttel. Avagy a neurális háló valamely aktivációs állapotát egy tőle minimálisan eltérő állapottal.
4. Ha a szomszédos pozíció (jelölt, állapot) harmonikusabb, mint a jelenlegi pozíció (jelölt, állapot), akkor a véletlen bolyongó odalép (megváltozik a memóriában tárolt jelölt, megváltozik a neurális háló aktivációs állapota). Ellenkező esetben csupán bizonyos valószínűséggel lép a véletlen bolyongó. Ezt a valószínűséget egy exponenciális függvény határozza meg, amelynek értéke csökken, ahogy az algoritmus előrehaladásával csökken a „hőmérséklet” nevű paraméter értéke. A véletlen bolyongó generál egy véletlen számot 0 és 1 között, és amennyiben ez a szám kisebb, mint az

¹⁸ A fizikai analógiáról bővebben lásd például Bíró (2005a)-t és Bíró (2005b)-t.

exponenciális függvény által meghatározott valószínűség, akkor lép, egyébként helyben marad.¹⁹

5. Az algoritmus kimenete a véletlen bolyongó végső pozíciója, ahova eljutott, miközben a hőmérséklet elérte a „fagyáspontot”.

Képzeljük el, hogy egy hegyes-dombos vidék legmélyebb pontját (minimumát) keressük. Véletlenszerűen bolyongunk, hol északra, hol délre, hol keletre, hol nyugatra lépkedünk. A bolyongás elején még frissek vagyunk, és hajlandók vagyunk magasabbra is lépni. Ahogy fáradunk, annál kevésbé szeretnénk felfele mászni, egyre kisebb lépéseket teszünk hegynek fel, és inkább lefelé haladunk. A bolyongás végére leereszkedünk egy völgy aljára, és ott ragadunk.

Ha szerencsénk van, a legmélyebb völgy alját, a **globális minimumot** találjuk meg. Ha nem, akkor egy (a globális minimumtól eltérő) **lokális minimumba** ragadtunk bele: ez a pont nem a táj legmélyebb pontja, de alacsonyabban fekszik, mint valamennyi szomszédos pozíció. Mivel a szimuláció végén, amikor a hőmérséklet nevű paraméter értéke már nagyon alacsony, a véletlen bolyongó csak az optimum irányába mozdulhat el, a lokális optimumok csapdába ejtik az algoritmust.

A szimulált hőkezelés sztochasztikus eljárás, mert számos pontján dönt a véletlen. Ha sokszor lefuttatjuk, akkor az esetek bizonyos hányadában a globális optimumba ragad bele, vagyis „helyes” eredményt ad az optimalizáció. A globális optimum megtalálásának a valószínűségét nevezzük az algoritmus **pontosságának**, amit a helyes eredményt produkáló futtatások arányával mérhetünk. Az eljárás más esetekben téves, a globálistól eltérő, de lokálisan mindig optimális kimeneteket produkál. Tehát a hibás outputok is lokális optimumok, ami a megközelítésnek egy erős predikciója.

A szimulált hőkezelés sebessége – vagyis a hőmérséklet csökkentésének a tempója – változtatható. Kezdetben a hőmérséklet olyan magas, hogy a véletlen bolyongó „minden hegyet képes megmászni”, vagyis akadályoztatás nélkül bejárhatja az egész tájat. A végén már csak az éppen megtalált medence aljára tud leereszkedni. Gyorsabb a számítás, ha kevesebb lépésben csökken le a hőmérséklet „forrásponttól” „fagypontra”. Fontos felismerése a szimulált hőkezeléssel foglalkozó szakirodalomnak, hogy minél lassabban csökkentjük a hőmérsékletet, minél több iterációs lépést tehet meg a véletlen bolyongó, annál nagyobb a globális optimum

¹⁹ Az SA-OT algoritmus megalkotása során a kihívást az jelentette, hogy az optimalitáselméletben az optimalizálandó célfüggvény nem valós értékű. Az említett „exponenciális függvény” részleteinek a kidolgozását ld. Biró (2006) 2. és 3. fejezetében.

megtalálásának az esélye (részletesebb összefoglalót nyújt Reeves 1995).²⁰ Megfordítva: a számítás felgyorsítható, de ennek az árát a pontosság csökkenésével, a hibás kimenetek arányának a növekedésével kell megfizetni.

Foglaljuk össze, mire jutottunk. Az optimalitáselmélet és a harmónianyelvtan – utóbbit akár konnekcionista, akár szimbolikus formában alkalmazzuk – kompetenciamodellek: azt a nyelvi tudást modellezzik, amely az anyanyelvi beszélő fejében statikusan megvan. Ezekben a formalizmusokban a jelöltek (*candidate*-ek; konnekcionista harmónianyelvtan esetén a neurális háló állapotai) közül a legharmonikusabb, a globálisan optimális alak számít grammatikusnak. Ne felejtjük, Newmeyer (1983) felfogásához hasonlóan a grammatikalitást én is a mentális nyelvtan modelljének a függvényében értelmezem: azt, hogy egy alak a tényleges mentális nyelvtan szerint is grammatikus, csak akkor mondhatnánk, ha tudnánk, hogy a modellünk pontosan visszaadja a mentális nyelvtant.

A statikus nyelvtudással szemben áll az a dinamikus folyamat, amikor az anyanyelvi beszélő használja a nyelvtudását – és ezt Chomsky már a performanciába sorolta –, például amikor egy alakot, mondatot beszélőként kiejt vagy hallgatóként értelmez, vagy amikor egy alak, mondat elfogadhatóságát (*acceptability*) ítéli meg. Utóbbi kettőhöz nem tudok hozzászólni, a produkció kapcsán viszont azt mutattam be: a (szimbolikus vagy konnekcionista) szimulált hőkezelés az a dinamikus folyamat, amelynek révén a statikus nyelvtudás a beszéd céljaira alkalmazható. A harmónianyelvtan vagy az optimalitáselmélet a kompetenciamodell, és hozzá a szimulált hőkezelés biztosítja a performanciamodellt (vö. Smolensky–Legendre 2006, Bíró 2006). Ez az algoritmus nem tökéletes, a pontossága nem 100%: nem mindig találja meg a grammatikus, globálisan optimális alakot, hanem bizonyos valószínűséggel más lokális alakot is („performanciahibát”) legenerálhat. Az egyelőre nem világos, hogy mitől is függ, hogy az anyanyelvi beszélő ugyanezen nyelvi tudása hogyan dönt az alternatív alakok elfogadhatóságáról.²¹

²⁰ Ez az állítás akkor igaz, ha az optimalizálandó célfüggvény valós értékű, mint a tengerszint feletti magasság a hegyes-völgyes tájon bolyongó példánkban, illetve a szimbolikus és konnekcionista harmónianyelvtanok esetén. Az optimalitáselmélet SA-OT implementációjában, a szigorú dominancia elve miatt, előfordulhat olyan eset, amikor a hőkezelés lassításával nem növelhető az algoritmus pontossága (Bíró 2006).

²¹ Elképzelhető tehát, hogy az anyanyelvi beszélő a „performanciahibát” elfogadhatónak, vagy akár a grammatikus alaknál elfogadhatóbbnak ítéli meg (és itt nem mesterséges preskriptív szabályokra gondolok). Mint ahogy az is elképzelhető, hogy a globálisan optimális alak generálásának a valószínűsége – az algoritmus pontossága – nem éri el az 50%-ot, sőt esetleg egy lokális optimum gyakrabban fordul elő az algoritmus kimenetében, mint a globális.

4. Gyorsbeszéd: holland hangsúly, magyar magánhangzó-harmónia

A szimulált hőkezelés tehát felgyorsítható, de a gyorsabb komputáció eredményeképp (általában) megváltozik a performanciamintázat: csökken a globálisan optimális – azaz a grammatikusnak nevezett – alak gyakorisága/valószínűsége. Az optimalitáselmélet és a harmónianyelvten ezen implementációjának a viselkedése a gyorsbeszédre emlékeztet. Természetesen a gyorsbeszéd során lényeges egyes artikulációs szempontok megnövekedett fontossága, de a gyorsbeszédre jellemző alakok magyarázatában szerepet játszhat a beszédtempónak a mentális számításokra kifejtett hatása is. Nem csupán a gyorsabb produkcióval lépést tartó gyorsabb agyi munkára kell gondolni: a gyorsbeszédet kiváltó nem-nyelvi okok, valamint a gyorsabb artikuláció megtervezése is elvonhatja a „számítási kapacitásokat” a fonológiai, morfológiai, szintaktikai komputációtól.

Disszertációm egyik fejezetében (Bíró 2006; lásd még Bíró 2005b-t is) azzal foglalkoztam, hogy miként változik meg a hangsúlymintázat a holland gyorsbeszédben. Kollégáim, Maartje Schreuder és Dicky Gilbers (2004) adataira támaszkodtam, akik zenei analógiák mintájára azt vizsgálták, átrendeződik-e a beszéd ritmusa, ha „andante” tempóról átvált a beszélő „allegro” tempóra. Azt találták, hogy a zenei ritmushoz hasonlóan beszédben is eltolódhat, vagy akár törlődhet is a hangsúly.²² Így például a *stúdietòelage* ’tanulmányi ösztöndíj’ mellékhangsúlya jobbra tolódik egy szótaggal (*stúdietoelàge*), a *perfectioníst* ’perfekcionista’ szóé balra (*pèrfectioníst*), míg a *zùidàfrikàans* ’dél-afrikai’ második mellékhangsúlya kiesik (*zùidafrikàans*).

Pontosabban, mind az „andante”, mind az „allegro” tempó mellett megfigyelhető mindkét alak, de az átstrukturált hangsúlyszerkezet gyakorisága megnő gyorsbeszédben. A performanciamintázat ráadásul nem csak a beszédtempótól, hanem a szótól és annak a morfofonológiai szerkezetétől is függ. Így például a *zuidafrikaans* mintájára viselkedő szavak esetén 90% fölötti értékről 70% alá csökkent, de még mindig többségben maradt gyorsbeszédben is a háromhangsúlyos opció. Ezzel szemben a *perfectionist* típusú szavak esetén már az andante beszédben is többségben voltak a gyorsbeszédre jellemző, átstrukturált alakok, de arányuk tovább nőtt allegróba váltva.

²² Mint ahogy arra egy anonim lektor felhívta a figyelmemet, az *allegro* és *lento* terminusok használata a gyors, ill. a normális tempójú beszédre legalább az 1970-es évek elejére nyúlik vissza (Dressler 1972).

Felvethetnénk tehát azt, hogy a *perfectionist* grammatikus alakja a gyakoribb *pèrfectionist* lenne, és a normális beszédben is ritkább *perfectionist* lenne a „performanciahiba”. Ezt a megközelítést két érveléssel is támadhatjuk. Az egyik érvelés az elemzés homogenitása: a ritkább *perfectionist* alak ugyanazokkal az eszközökkel értelmezhető – hűség a szót alkotó morféma hangsúlymintázatához – mint a többi típus esetén a gyakoribb alakok. Ezzel szemben a gyakoribb *pèrfectionist* alak a többi gyorsbeszédbeli alak esetén is megfigyelhető hangsúlytaszítással magyarázható. A másik érvelés pedig annak a furcsasága, hogy gyorsbeszédben kevesebb lenne a performanciahiba, mint normális beszédben. Tehát nem az anyanyelvi beszélő ítélete dönti el, hogy melyik a grammatikus alak, és nem is feltétlenül a leggyakoribb alak lesz az.

Disszertációmban ezekhez az adatokhoz készítettem modellt. A *perfectionist* és társai lettek a globális optimumok, míg az átstrukturált hangsúlymintázatok az alternatív lokális optimumok. Ehhez a bemenetet elláttam az összes lehetséges metrikus struktúrával (egy vagy két szótagból álló metrikus láb kombinációi), így kaptam meg a jelöltek halmazát, majd ezen a halmazon bevezettem egy szomszédsági struktúrát. Két jelölt akkor szomszédos, ha egy „elemi változtatás” révén juthatunk el egyikből a másikba. „Elemi változtatásnak” számít egy monoszillabikus metrikus láb beillesztése vagy törlése, egy monoszillabikus láb kibővítése két szótagossá, és viszont, valamint egy kétszótagos trochaikus láb átalakítása jambikusná, és viszont. Ezen felül a megfelelő megszorításokat is meg kellett határozni. Számítógépes kísérleteim során a sztochasztikus (véletlenszerű) algoritmusomat sok ezer alkalommal lefuttattam, és így „mértem meg”, mely paraméterbeállítás mellett milyen performanciamintázatot ad az eljárásom.

Erőfeszítéseimet csak félsiker koronázta. A megfigyelt gyakorisági adatok visszaadása nem volt könnyű. A legjobb eredményt úgy értem el, ha az allegro beszéd modellezése során a hőmérséklet tízszer olyan gyorsan csökkent, mint az andante beszéd modellezése során. Természetesen a beszédtempóban nincs tízszeres különbség a kettő között, de nem tudhatjuk, a mentális számítás nem gyorsul-e fel ennyire, még ha a hangképző szervek nem is bírják ezt a tempót.

Váratlan siker volt azonban az, hogy helyesen jósltam meg az egyes szócsoportok relatív viszonyait: hogy a *perfectionist* kiejtése jóval nehezebb, mint a *zuidàfrikàans*-é. A modell megalkotása során nem törekedtem arra, hogy visszaadjam ezt a megfigyelést, ezért ez az előre nem tervezett eredmény biztató jel lehet a megközelítés adekvát volta mellett. Szemben más OT-alapú megközelítésekkel, ezt a sikert az biztosítja, hogy a különböző szavak esetén bár ugyanazok a megszorítások és ezek rangsorolása (vagyis a beszélő mentális nyelvtana változatlan), de eltérőek a bemeneteknek megfelelő „tájképek”. A *perfectionist* egy sokkal kisebb

„vonzási medence” (*basin of attraction*) mélyén fekszik, mint a zùidáfrikáans. Így a véletlen bolyongó az utóbbi esetben könnyen megtalálja a globális optimumhoz vezető völgyet. Az előbbi tájképe viszont közelebb lehet a szimulált hőkezelést bemutató irodalom elterjedt példájához, a golfpályához: a legmélyebb pont egy szűk lyuk alján található, és ezért nehezebb arra rálelni, mint egy kevésbé mély, de széles homorulatra a talajban.

Eddig megkerültem azt a kérdést, hogy honnan származtak Schreuder és Gilbers „andante” és „allegro” hangsúlyadatai. A módszer, a kísérleti paradigma (Schreuder–Gilbers 2004; Schreuder 2006) alapötlete az, hogy a kísérleti alanyok egy képzeletbeli kvízvetélkedőben vesznek részt. A nem túl nehéz kvízkérdésre (például: *Hogy hívjuk azt a személyt, aki a tökéletesre törekszik?*) három lehetőség közül kellett kiválasztani és minél gyorsabban rávágni a nyilvánvalóan helyes választ (a példánkban: *perfekcionista*). Ezt követően ugyanezekkel az alanyokkal nyugodt körülmények között felolvastatták ugyanezeket a szavakat, a *most a ... szót ejtem ki* mondatba beágyazva. A hangfelvételeket PRAAT-tal elemezték ki, és összevetették a két különböző kontextusban kiejtett hangsúlymintázatokat.

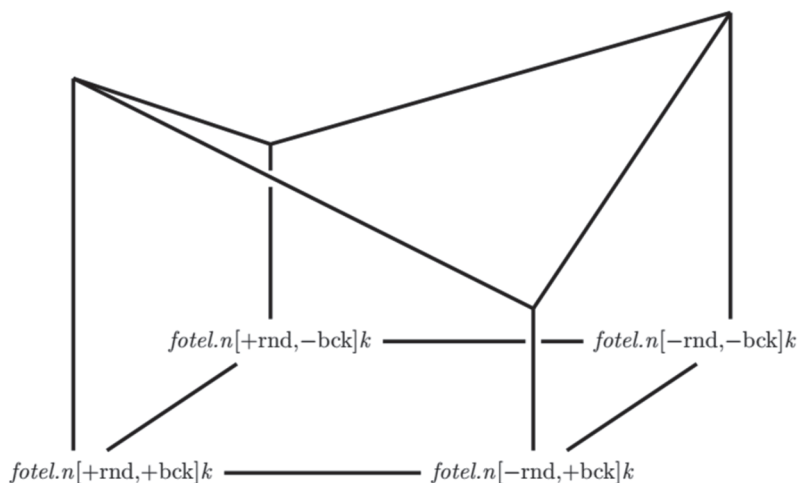
Ugyanezt a kísérleti paradigmát alkalmaztuk a közelmúltban a magyar magánhangzó-harmónia vizsgálata során (Hetényi–Biró 2016; Biró–Hetényi előkészületben). Mint közismert (pl. Hayes et al. 2009; Rebrus et al. 2012), az **ingadozó tövek** egyaránt kaphatnak hátul képzett és elől képzett toldalékokat, így például a *fotel* szó egyes számú inessivusi alakja egyaránt lehet: *fotelben* és *fotelban*. A *Szószablya* webkorpuszban ((Halácsy et al. 2004)) mindkettő meglehetősen magas és közel egyenlő gyakorisággal (376, ill. 374) van jelen. Kísérletünk is megerősítette, hogy intraindividuális variációval van dolgunk: számos beszélő hol az egyiket, hol a másikat mondja, tehát nem a magyar nyelv két változatáról – a beszélők két, diszjunkt halmazáról – van szó.

Vajon a beszédtempó befolyásolja a toldalék két allomorfa közötti választást? Erre a kérdésre kerestük a választ a Schreuder–Gilbers kísérleti paradigma alkalmazásával. Tanulmányom következő fejezetében visszatérek a Hetényi és Biró (2016; Biró–Hetényi előkészületben)-féle kísérlet részleteire és tanulságaira. Előljáróban: az derült ki, hogy a hátul képzett toldalék valószínűsége kis mértékben megemelkedett, amikor a beszélőnek gyorsan kellett a választ kiejtenie.

A magyar magánhangzó-harmónia kezelésére számos javaslat született, amelyek áttekintésére itt nincs mód. Általában feltételezik, hogy a *fotelben* és a *fotelban* alakok egyaránt grammatikusak. Az eddig leírtak szellemében mi azonban csupán annyit mondhatunk, hogy e két alak egyaránt elfogadható (*acceptable*) és korpuszban előforduló (*attested*). Optimalitáselméleti szempontból valószínűtlen, hogy a két alak harmóniája pontosan egyenlő lenne. Ha ilyen elemzést készítenénk, nem

tudnánk mondani semmit az eloszlásukról, és arról, hogy milyen tényezők (például a beszédtempó) hogyan befolyásolják a gyakoriságukat – erre a megközelítésre írja azt Anttila (1997), hogy „the poor man’s way of dealing with variation”.

Ezért azt javaslom, tekintsük az egyiket a grammatikus alaknak, a másikról pedig feltételezzük, hogy a performancia hozza azt létre (2. ábra). De vajon melyiket? A szimulált hőkezelés kapcsán láttuk, hogy a gyorsabb komputáció csökkenti a globális optimum generálásának a valószínűségét, és hasonlóképp, intuitív azt feltételezni, hogy gyorsbeszédben csökken a „helyes” alakok gyakorisága. A Hetényi Eszterrel közösen végzett kísérletünk célja éppen annak megfigyelése, hogy milyen irányba tolódik el a performanciamintázat. Mivel azt találtuk, hogy gyorsbeszédben (minimális, de statisztikai értelemben szignifikáns mértékben) emelkedik a hátul képzett ragok valószínűsége, ezért arra következtethetünk, hogy a *fotelben* alak tekintendő grammatikusnak, a *fotelban* pedig olyan alaknak, amelyet a nyelvtan implementációja szintén előállít.



2. ábra: „Tájkép” a magyar magánhangzó-harmónia modellezéséhez. Az elől képzett kerekítetlen és a hátul képzett kerekített toldalék egyaránt lokális optimum, mivel mindkettő harmóniája magasabb, mint a szomszédos alakoké. A két lokális optimum közül az egyik globálisan is optimális alak.

5. Kísérletes megközelítések a számítógépes nyelvész szemszögéből

A kísérlet, röviden, a következő formában zajlott le. (Részletesen ismerteti: Biró–Hetényi, előkészületben.) A kísérleti alany leült a kísérletvezető laptopja elé, és

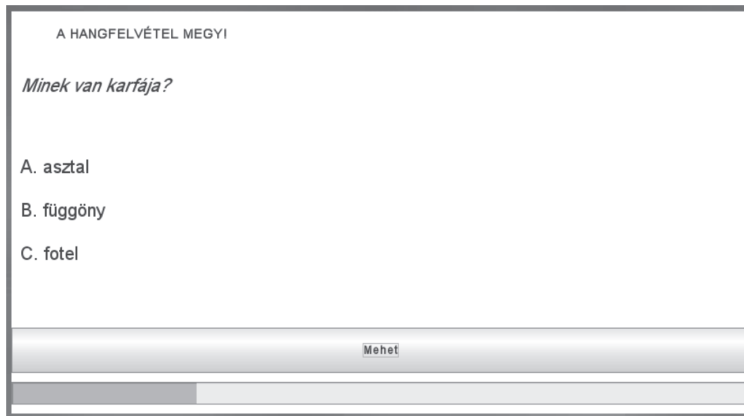
felvett egy mikrofonos fejhallgatót.²³ A képernyőn előbb egy beleegyező nyilatkozatot, majd a feladatnak egy példával illusztrált leírását olvashatta el. Ezt követték a kvízkérdések, képernyőnként egy kérdés három válasszal. A válaszokat ragozatlan alakban adtuk meg, például így (l. a 3. ábrát is):

Minek van karfája?

A. asztal.

B. függöny.

C. fotel.



3. ábra: Képernyőkép a kísérlet első részében

Erre a kérdésre az alany ragozott választ adott: *fotelnek* vagy *fotelnek*. Az alanyokat előzetesen arra kértük, hogy ne a válasz betűjelét mondják, és ne is egyszerűen felolvassák a választ, hanem ragozva mondják a főnevet. A kísérlet elején egy példát is mutattunk nekik (amely természetesen nem ingadozó tövet tartalmazott), és a kísérletvezető is közbeavatkozott, ha nem ragozott választ adtak az alanyok az első néhány kvízkérdés megválaszolása közben. Ezek az első kérdések *fillerek* voltak. A kísérlet célját szolgáló szavak szerepét ugyanis az esetek felében dativusi (*-nAk*), a másik felében pedig inessivusi (*-bAn*) raggal ellátott ingadozó tövek töltötték be, azonban az első néhány kérdésre, majd a célszavak közt elszórt *fillerekre* adandó válaszok nem ingadozó töveket (és mindenféle esetragot) igényeltek. A kutatás pontos célját egyébként nem árultuk el a kísérletben résztvevőknek, de arra gyorsan rájöttek, hogy a magyar ragozásról szól.

²³ Egy átlagos mai laptop egy átlagos mikrofonos fejhallgatóval elegendően jó minőségű hangfelvételt készített ahhoz, hogy a kísérletet kiértékelők a *fotelnek* ~ *fotelnek* típusú ragalternáció során a magánhangzó minőségét nagy magabiztossággal megállapíthassák.

A kísérlet két részből állt. Az első részben a kérdés nem csupán vizuálisan jelent meg a képernyőn (3. ábra), hanem az alany a fejhallgatón keresztül hallotta is (de a válaszokat nem). A választ a mikrofonba kellett mondania, majd megnyomnia az egerrel egy gombot.²⁴ Ekkor a képernyőn, a kérdés helyén, a válasz sebessége jelent meg, majd néhány másodperccel később a következő kérdés. A reakcióidő megjelenítésével a célunk a válaszadások felgyorsítása volt, és ugyanezt a célt szolgálta a kísérlet későbbi verziójában egy kisebb jutalom kitűzése is. A kísérlet ezen első szakaszában a mikrofon mindent rögzített.

Ezt követte a kísérletünk résztvevőire vonatkozó néhány személyes adat (életkor, iskolai végzettség, anyanyelv, születési hely...) rögzítése. Ezalatt az alanyaink kicsit pihenhettek, „lelassulhattak”, és ugyanakkor gyakorolhatták a kísérletvezető laptopján való gépelést is. Majd a kísérlet második szakaszában ugyanazokra a kvízkérdésekre kellett válaszolniuk, mint az előbb, a lehetséges válaszokat is ugyanabban a sorrendben jelenítettük meg a képernyőn, de ekkor már nem sűrgöttük őket (4. ábra). A fejhallgatóban sem hallották a kérdést, és – eltérve Schreuder és Gilbers paradigmájától – az alanyaink ekkor a válaszaikat nem kiejtették, hanem begépeltek a laptopon futó kísérleti szoftverbe.



4. ábra: Képernyőkép a kísérlet második részében

Így állt össze a kísérletünk **ismételt tesztelési elrendezése** (*repeated measures design*). Egy alany ugyanarra a kérdésre kétszer válaszolt, vagyis kétszer mértük

²⁴Néha előfordult, hogy egy-egy résztvevő előbb nyomta meg a gombot, mint hogy kiejtette volna a választ. Ez természetesen „csalás”, amennyiben gyorsabban tud így a kérdéseken végighaladni, azonban a kísérlet szempontjából nem járt következménnyel.

meg, hogy adott ingadozó tő esetén adott ragnak az elől képzett vagy a hátul képzett allomorfiát választja-e: egyszer a kísérlet első részében, és egyszer a kísérlet második részében. A kvízkérdések sorrendjét, ill. az egy kérdéshez tartozó válaszok sorrendjét az alanyok között randomizáltuk, de egy alany ugyanabban a sorrendben találkozott velük a kísérlet második részében, mint az elsőben, annak érdekében, hogy ne legyen jelen eltérő előfeszítés (*priming*) a kísérlet két részében.

A két tesztelés feltételei csupán néhány, jól meghatározható részletben tértek el egymástól. Ezek a következők voltak: (1) először sürgettük az alanyokat, másodjára már nem; (2) először ismeretlen kvízkérdést kellett megválaszolniuk, másodjára már ismerős volt a feladat; (3) először két modalításban is fel kellett egyszerre dolgozniuk a kérdést, másodjára már saját tempójukban olvashatták el azt; (4) először „rá kellett vágni” a választ, másodjára saját tempójukban gépelhettek. Mind a négy tényező abba az irányba mutat, hogy az első tesztelés során mentálisan „megterheltük” a résztvevőinket, hiszen gyorsan kellett egy komplex feladatot megoldaniuk. Ezzel szemben, azt állítom, a második tesztelés során a kísérleti alanyaink nagyobb „számítási kapacitást” tudtak a morfofonológiai komputáció rendelkezésére bocsátani.

Az **ismételt tesztelési elrendezés** során azt vizsgálhatjuk, van-e szignifikáns eltérés a két tesztelési feltétel között a kísérlet valamely kimenetelének a valószínűsége tekintetében. Például a hátul képzett allomorf valószínűbb-e „mentális terhelés” alatt – és azt kaptuk, hogy feltehetően igen. Más szóval: többször fordult elő, hogy egy alany adott kvízkérdés során a kísérlet első felében mély hangrendű toldalékot, a második felében viszont magas hangrendűt használt, mint ennek az eseménynek a megfordítottja. Vagyis arra a konklúzióra jutottunk, hogy az elől képzett allomorfok jelentenek a „grammatikus” választást, és a hátul képzettek lennének a performancia által produkált „lokális optimumok”.

Tanulmányomban tudatosan nem prezentáltam egyetlen konkrét elemzést sem, meghatározott jelöltekkel és jól körülírt megszorításokkal. Ezzel céloom azt hangsúlyozni, hogy a bemutatott eredmény független attól, hogy egy-egy nyelvész pontosan mely építőelemekből hogyan építi fel kedvenc elemzését.

Míg korábban kollégáim szolgáltatták a modelljeimhez az empirikus adatokat, ezúttal saját magam állítottam azokat elő egy hallgató-kolléga segítségével. Elméleti és számítógépes nyelvészként milyen élmény volt életem első „valódi” kísérletes kutatása?

Ellentétben a számítógépes kísérletezgetéssel, nagyon alapos előzetes tervezésre volt ezúttal szükség, amikor valódi kísérleti alanyokkal vettünk fel egy kísérletet. A *trial-and-error* módszerhez voltam szokva: Megírtam a programot, lefuttattam, kijavítottam a programhibákat (*bug*), újból lefuttattam a programot, újabb

programozási hibákat javítottam ki... Ha már nem volt több programozási hiba a programomban, az első eredményeket értelmezve rájöttem arra, hogy a modellemet kicsit módosítani kellene. Újabb paramétereket vettem be, más körülmények között futtattam le a kísérletet.²⁵ Egy számítógépes szimuláció lefuttatása néhány percet, órát, esetleg egy éjszakát vagy néhány napot vett igénybe. Amíg a program futott, mással foglalkozhattam. Egykori tanárain, Vicsek Tamás és Kertész János fizikusok, a számítógépes modellezés magyarországi úttörői, még meséltek a hőskorról, amikor a kutató lyukkártyákon vitte a programját a számítóközpontba, és másnap tudta meg, hogy a második programsorban lévő apró hiba miatt nem futott le a program. Más tudományterületeken egy-egy számításigényes feladat az egész egyetem nagyteljesítményű számítógéprendszerét órákra, napokra lekötöheti. Én viszont mindeddig legfeljebb a saját kutatóidőmet vesztegettem, ha nem terveztem előre.

Eszterrel tehát nagyon alaposan át kellett gondolnunk előre mindent. Összeállítottuk az ingadozó célszavak (*fotel, hotel, farmer, férfi...*), valamint a nem ingadozó, felerészt magas hangrendű, felerészt pedig mély hangrendű *filler* szavak listáját. Ezekhez a kolléganő kvízkérdéseket és alternatív válaszokat írt. Számos szempontot figyelembe kellett vennünk. Például azt, hogy az alternatív válaszok közül az egyik mindig mély hangrendű legyen, a másik pedig magas hangrendű. Arra törekedtünk, hogy szótagszámban és szemantikai szempontból is hasonlítsanak a válaszok. Néha csak utólag derült ki, hogy egy-egy kérdésre a helyes válasz nem annyira egyértelmű, mint ahogy mi azt gondoltuk. Máskor nem volt egyértelmű a válasz esetragja. Így például a *Melyik ruhadarabnak lehet hosszú szára? A. cipő. B. farmer. C. sapka* kvízkérdésre néhányan a *cipő* választ adták. A *Hogy nevezik a felnőtt fiúkat? A. férfi. B. gyerek. C. kutya* esetén többen alanyesetben válaszolták azt, hogy *férfi*. Ezekből az esetekből tanulva körültekintőbben fogalmaztuk meg a kvízkérdéseket, amikor a második (az elsőnél kétszer hosszabb) tesztanyagot összeállítottuk.

Választhattunk volna valamilyen kész szoftvert, amelyet nyelvészeti kísérletekhez alakítottak ki. Akinek nincs előzetes tapasztalata ezen a téren, annak azonban fel kell mérnie a „piacot”, megértenie az egyes programok lehetőségeit, majd bele

²⁵ Az ilyen jellegű számítógépes kísérletezgetés veszélye éppen az, hogy a kutató belefeledkezik a paraméterekkel és a modell részleteivel való játékba, és a végén olyan hatalmas, ágas-bogas eredménytömeg halmozódik fel, amelyből már nem tudja rekonstruálni a cikk megírásához szükséges gondolatmenet vonalvezetését. Disszertációm egy pontján (Bíró 2006, 160) így foglaltam össze az egyik fejezetet: „During this random walk in the search space of different constraints and rankings, we have also encountered a number of interesting phenomena, such as...”. Vagyis nem csak a szimulált hőkezelés, de a kutató is véletlen bolyongást végez. Ennek szöveg ellentéte a kísérletes módszertan.

kell tanulnia a kiválasztott szoftverbe, és annak korlátaihoz igazítania a kísérletét. Ezért inkább úgy döntöttünk, hogy saját magunk írjuk meg a programot Java programozási nyelven. Bár lehet, hogy idő- és munkaigényesebb ez az opció, de a születő kísérleti eszközt teljes mértékben hozzáigazíthattuk a kísérletünk részleteihez. Így például teljes mértékig kontrollálhattuk a kvízkérdések és kérdésenként a három felajánlott válasz randomizált sorrendjét, az egyes kvízkérdések utáni szünet hosszát, a célszavak és a magas, illetve mély hangrendű fillerek ritmusát. A program mindazokat az adatokat lementette, amelyeket rögzíteni akartunk. A kísérleti eszköz megtervezésének és saját kezű megvalósításának további előnye az – szemben egy kész eszköz alapbeállításainak az átvételével –, hogy már az előkészítés fázisában milliónyi részletkérdés felmerül, tudatosodik a kutató számára, és még a kísérlet lefolytatása előtt arra kényszerül, hogy átgondolt, megalapozott döntéseket hozzon.

Szintén fontos szempont volt az, hogy a kísérlet lebonyolításának és kiértékelésének minél több lépését automatizáljuk. Ezáltal nem csupán munkaidőt takaríthattunk meg, de a figyelmetlenségből adódó, sajnos amúgy elkerülhetetlen hibaforrások egy részét is kiküszöbölhettük. Ezért a kísérleti eszköz mellett egy PHP-alapú webfelületet is kialakítottunk, amelyen a két kutató egymástól függetlenül értékelhette ki a kísérletek során felvett hangfájlokat, majd a webfelület összevetette a két bíráló által felvitt értékeket (5. ábra).

Az, hogy a kísérlet második felében a résztvevők begépeltek a válaszukat, nem pedig kiejtették a célszavakat, szintén részben hasonló megfontolásokból adódott. Az első részben felvett hangfájlok kiértékelése komoly munka és hibaforrás – éppen ezért végeztük azt el mindketten, egymástól függetlenül, majd az egyezés mértékét a *Cohen-kappa* nevű statisztikai mennyiséggel becsültük meg. Mivel azonban az alany a kísérlet második felében saját maga gépelte be a választ, a „mentális terhelés” hiányában produkált allomorfort a szoftver saját maga határozhatta meg, automatikusan.

6. Összefoglalás

Tanulmányom első felében bemutattam, hogyan vezet az út egy standard nyelvészeti elmélettől, kompetenciamodelltől, az OT-től (ill. a harmónianyelvtantól) egy arra építő performanciamodellig, a szimulált hőkezelésig. Ennek az utóbbi modellnek az a predikciója, hogy ha az agyunk gyorsabban „számítja ki” (keresi meg) a statikus kompetencia által grammatikusnak tartott alakot, akkor gyakrabban ejt hibát, vagyis produkál olyan lokális optimumot, amely globálisan nem

← → ↻ ⓘ birot.web.elte.hu/hvh/eval.php

QMD_604 (rákattintva meghallgatható):

B/b/A/a: back; F/f/E/e: front; 0: not useful; ?: undecided.

0:34.483
A. farmer; B. kalap; C. kendő

Miben járnak a fiatalok a leggyakrabban?
farmer: ragozt kap.
Komment:

0:49.248
A. dzsungel; B. tenger; C. barlang

Minek árt a fakitermelés?
dzsungel: ragozt kap.
Komment:

1:3.993000000000002
A. stopper; B. fésű; C. olló

Minek van időmérő funkciója?
stopper: ragozt kap.
Komment:

1:17.641999999999996
A. hajó; B. roller; C. repülő

Minek van kereke?
roller: ragozt kap.
Komment:

1:31.754000000000005
A. hamburger; B. saláta; C. gyümölcsle

Miben van hispogácsa?
hamburger: ragozt kap.
Komment:

1:37.875
A. pancser; B. cukrász; C. erdész

Kinek nincs szerencséje?
pancser: ragozt kap.
Komment:

1:52.066999999999999
A. notesz; B. újság; C. regény

Miben vannak jegyzetek?
notesz: ragozt kap.
Komment:

2:4.2890000000000015
A. suszter; B. ügyvéd; C. orvos

Kinek van cipészműhelye?
suszter: ragozt kap.
Komment:

5. **ábra:** Webes kiértékelő felület. A kutató rákattint a hangfájltra mutató linkre, és kitölti a hallott válaszok alapján a megfelelő mezőket.

optimális. A gyorsabb számítás azt jelenti, hogy a hőmérséklet nevű paraméter kevesebb iterációs lépés alatt csökken le, és a véletlen bolyongó csak rövidebb utat tehet meg – például azért, mert a gyorsbeszéd tempójával lépést kell tartania az elménkben futó szoftvernek, vagy azért, mert az agyi kapacitásunkat egyéb feladatok is lekötik.

Így jutottunk el a Schreuder és Gilbers-féle kvízkérdéses kísérleti paradigmához. Tanulmányom második felében impresszionista ecsetvonásokkal vázoltam fel, miből áll egy kísérlet megtervezése és kivitelezése, milyen döntéseket kell

meghozni, és mire kell odafigyelni. A Hetényi–Biró-kísérlet eredményei sajnos halványabbak, mint előzetesen reméltem: a két kísérleti szituáció között nagyon kismértékű a performanciamintázat eltolódása, és amit kaptunk, az szinte már a statisztikai szignifikancia határán van. Ez a közel negatív eredmény nem a mi hibánk, nem a mi ügyetlenségünk következménye, hanem a tudományos kutatás mindennapi velejárója, amely azonban homályban marad, mivel publikációk és híradások elsősorban a sikert felmutatni képes kutatásokról születnek. Jóval több adatra és minden valószínűség szerint a kísérleti paradigma részleteinek a finomítására is szükség lesz ahhoz, hogy valóban meggyőző eredményeket lehessen publikálni.

Jelen tanulmányommal nem titkolt célom az, hogy a kísérlet folytatásához toborozzak társakat. A megírt – bár további csiszolást igénylő – szoftver rendelkezésre áll. Több kísérleti alannyal, több ingadozó tővel is érdemes lenne felvenni a bemutatott kísérletet. Felmerül, hogy mi történik, ha felcseréljük a két rész sorrendjét; ha a második részben is szóban kell válaszolni; vagy ha hosszabb idő telik el a két rész között. Az agyi „számítást” más eszközökkel is befolyásolhatjuk: megemelkedett szívritmussal sporttevékenység következtében, alkoholfogyasztással, párhuzamos feladat végeztetésével (*dual-task paradigm*, pl. Wickens 1980), és így tovább. Vajon ezek a körülmények hatással vannak az allomorfválasztásra?

A kísérletezés (és általában az empirikus adatok gyűjtése) és az elméletalkotás örök dialógusban vannak egymással. Elméletben úgy képzeljük el, hogy az adatok vagy cáfolják, vagy korroborálják (valószínűsítik, ha – Popper óta tudjuk – nem is bizonyítják) az elméleteket. A valóság azonban az, hogy egy-egy elméletben kutatók sokaságának sok-sok munkaórája fekszik, és egy-egy elmélet, ha nem „légből kapott”, valóban sok megfigyelést megmagyaráz. Ha tehát felmerül egy olyan adat, amely cáfolni látszik az elméletet, akkor kár lenne azt azonnal sutba vágni – és valóban, ezt a drasztikus lépést egy tudományterület a legritkább esetben választja. Ilyen esetekben az elméletet inkább módosítják, finomítják, áthangolják úgy, hogy az új adatokkal is konzisztenssé váljék. Természetesen ilyenkor a régi adatokat is újra kell gondolni a módosított elmélet fényénél. A kuhni értelemben vett „normál”, „rejtvényfejtő” tudomány – két forradalom között – ilyen aprócska forradalmacskákat sorozatán keresztül fejlődik.

Bízom benne, hogy újabb és újabb kísérletes adatok fényében tovább lehet fejleszteni az optimalitáselméletet és az arra épülő performanciamodellt is. Ugyanis míg az elméletét korroboráló adatok büszkeséggel töltik el a kutatót, addig az azt cáfolni látszó, az elmélet újragondolására, módosítására ösztönző adatok jóval izgalmasabbak.

Irodalom

- Anttila, Arto 1997. Deriving variation from grammar. In: Frans Hinskens – Roeland van Hout – W. Leo Wetzels (szerk.): *Variation, change and phonological theory*. Amsterdam – Philadelphia: John Benjamins. 35–68.
- Bennett, Patrick R. 1998. *Comparative Semitic linguistics: A manual*. Winona Lake: Eisenbrauns.
- Bíró Tamás 2005a. A sz.ot.ag – Optimalitáselmélet szimulált hőkezeléssel. In: Alexin Zoltán – Csendes Dóra (szerk.): *III. Magyar Számítógépes Nyelvészeti Konferencia*. Szeged, 2005. december 8–9. Szegedi Tudományegyetem Informatikai Tanszékcsoport. 29–40.
- Bíró, Tamás 2005b. When the hothead speaks: Simulated annealing Optimality Theory for Dutch fast speech. In: Ton van der Wouden – Michaela Poss – Hilke Reckman – Crit Cremers (szerk.): *Computational linguistics in the Netherlands 2004: Selected papers from the fifteenth CLIN meeting*. LOT Occasional series. Utrecht: LOT. 13–28.
- Bíró, Tamás 2006. Finding the right words: Implementing Optimality Theory with simulated annealing. Doktori értekezés. Rijksuniversiteit Groningen.
- Bíró, Tamás 2007. The benefits of errors: Learning an OT grammar with a structured candidate set. In: Paula Buttery – Aline Villavicencio – Anna Korhonen (szerk.): *Proceedings of the Workshop on Cognitive Aspects of Computational Language Acquisition*. Prague, Czech Republic, June 2007. 81–88.
- Bíró, Tamás 2014. A biological/computational approach to culture(s) is cognitive science. *TopiCS in Cognitive Science* 6:140–142.
- Bíró, Tamás – Eszter Hetényi előkészületben. Backing vacillating stems: Hungarian vowel harmony in fast speech.
- Bocz András 1995. A tanulhatóság problémájáról: Optimalitáselmélet és nyelvelsajátítás. In: Pléh Csaba – Vinkler Zsuzsa – Bocz András (szerk.): *Fikog: Fialet Kognitivisták I. Konferenciája*, 1995. május, Budapest. Budapest: ELTE. 3–12.
- Boersma, Paul 2011. A programme for bidirectional phonology and phonetics and their acquisition and evolution. In: Anton Benz – Jason Mattausch (szerk.): *Bidirectional Optimality Theory*. Amsterdam: John Benjamins. 33–72.
- Chomsky, Noam 1965. *Aspects of the theory of syntax*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Chomsky, Noam – Morris Halle 1968. *The sound pattern of English*. New York: Harper and Row.
- Csépe Valéria – Györi Miklós – Ragó Anett 2008. *Általános pszichológia* 1–3. 3. kötet: *Nyelv, tudat, gondolkodás*. Budapest: Osiris Kiadó.
- Daugman, John G. 2001 [1990]. Brain metaphor and brain theory. In: William Bechtel – Pete Mandlik – Jennifer Mundale – Robert Stufflebeam (szerk.): *Philosophy and the neurosciences: A reader*. Malden, MA – Oxford: Blackwell. 23–36. [Eredeti kiadás: E. L. Schwartz (szerk.): *Computational neuroscience*. Cambridge, MA: MIT Press, 1990. 9–18.]
- Dressler, Wolfgang U. 1972. *Allegroregeln rechtfertigen Lentoregeln: Sekundäre Phoneme des Bretonischen*. Innsbrucker Beiträge zur Sprachwissenschaft 9. Innsbruck: Institut für Vergleichende Sprachwissenschaft der Universität Innsbruck, 1972.
- Epstein, Joshua M. 2006. *Generative social science: Studies in agent-based computational modeling*. Princeton – Oxford: Princeton University Press.
- Everaert, Martin – Tom Lentz – Hannah De Mulder – Øystein Nilsen – Arjen Zondervan 2010. The linguistics enterprise: From knowledge of language to knowledge in linguistics. In: Martin Everaert – Tom Lentz – Hannah De Mulder – Øystein Nilsen – Arjen Zondervan (szerk.):

- The linguistics enterprise: From knowledge of language to knowledge in linguistics. Amsterdam – Philadelphia: John Benjamins. 1–10.
- É. Kiss Katalin – Szabolcsi Anna 1992. Grammatikaelméleti bevezető. In: Kiefer Ferenc (szerk.): *Strukturális magyar nyelvtan*, 1. kötet: Mondattan. Budapest: Akadémiai Kiadó. 21–77.
- Halácsy, Péter – András Kornai – László Németh – András Rung – István Szakadát – Viktor Trón 2004. Creating open language resources for Hungarian. In: *Proceedings of the Language Resources and Evaluation Conference (LREC04)*. LREC, 203–210. <http://szotar.mokk.bme.hu/szoszablya/searchq.php>.
- Hayes, Bruce – Péter Siptár – Kie Zuraw – Zsuzsa Londe 2009. Natural and unnatural constraints in Hungarian vowel harmony. *Language* 85: 822–863.
- Hetényi, Eszter – Tamás Biró 2016. Backing vacillating stems: Hungarian vowel harmony in fast speech. *Előadás. Workshop on Variation in Phonology, 13th Old World Conference in Phonology (OCP)*, Budapest, 2016. január 13.
- Jackendoff, Ray 2007. *Language, consciousness, culture: Essays on mental structure (Jean Nicod Lectures)*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kiefer Ferenc 1994a. A fonológia ma. In: Kiefer (1994b, 25–41).
- Kiefer Ferenc (szerk.) 1994b. *Strukturális magyar nyelvtan*, 2. kötet: *Fonológia*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Kuhn, Thomas 2000 [1970]. *A tudományos forradalmak szerkezete*. Budapest: Osiris.
- Marr, David 1982. *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. San Francisco: W.H. Freeman.
- McCarthy, John J. 2008. *Doing Optimality Theory. Applying theory to data*. Malden, MA: Blackwell.
- McCarthy, John J. – Alan Prince 1995. Faithfulness and reduplicative identity. In: Jill Beckman – Suzanne Urbanczyk – Laura Walsh Dickey (szerk.): *University of Massachusetts Occasional Papers in Linguistics 18: Papers in Optimality Theory*. 249–384.
- McClelland, James L. – David E. Rumelhart – PDP Research Group 1986. *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition. Volume 2: Psychological and biological models*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Nádasdy Ádám – Siptár Péter 1994. A magánhangzók. In: Kiefer (1994b, 42–182).
- Newmeyer, Frederick J. 1983. *Grammatical theory: Its limits and its possibilities*. Chicago: University of Chicago Press.
- Niaz, Mansoor 1999. The role of idealization in science and its implications for science education. *Journal of Science Education and Technology* 8: 145–150.
- Pinker, Steven 2006. Whatever happened to the past tense debate? In: Eric Baković – Junko Ito – John J. McCarthy (szerk.): *Wondering at the natural fecundity of things: Essays in honor of Alan Prince*. Santa Cruz, CA: Linguistic Research Center, University of California. 221–238.
- Pinker, Steven – Alan Prince 1988. On language and connectionism: Analysis of a parallel distributed processing model of language acquisition. *Cognition* 28: 73–193.
- Prince, Alan – Paul Smolensky 1993/2004. *Optimality theory: Constraint interaction in generative grammar*. Malden, MA: Blackwell [2004]. Eredetileg: Technical Report nr. 2. of the Rutgers University Center for Cognitive Science (RuCCS-TR-2) [1993].
- Rebrus Péter 2001. *Optimalitáselmélet*. In: Siptár (2001, 77–116).
- Rebrus, Péter – Péter Szigetvári – Miklós Törkenczy 2012. Dark secrets of Hungarian vowel harmony. In: Eugeniusz Cyran – Henryk Kardela – Bogdan Szymanek (szerk.): *Sound, structure and sense: Studies in memory of Edmund Gussmann*. Lublin: Wydawnictwo KUL. 491–508.

- Reeves, Colin R. (szerk.) 1995. Modern heuristic techniques for combinatorial problems. London: McGraw-Hill.
- Rumelhart, David E. – James L. McClelland – PDP Research Group 1986. Parallel Distributed Processing: Explorations in the microstructure of cognition. Volume 1: Foundations. Cambridge, MA: MIT Press.
- Schreuder, Maartje 2006. Prosodic processes in language and music. Doktori értekezés. Groningen: University of Groningen.
- Schreuder, Maartje – Dicky Gilbers 2004. The influence of speech rate on rhythm patterns. In: Dicky Gilbers – Maartje Schreuder – Nienke Knevel (szerk.): On the boundaries of phonology and phonetics. Groningen: University of Groningen. 183–201.
- Siptár Péter 1994. A mássalhangzók. In: Kiefer (1994b, 183–272).
- Siptár Péter (szerk.) 2001. Szabálytalan fonológia. Budapest: Tinta Kiadó.
- Smolensky, Paul – Géraldine Legendre 2006. The harmonic mind: From neural computation to optimality-theoretic grammar. Cambridge, MA: MIT Press.
- Számadó, Szabolcs – Szathmáry, Eörs 2004. Language evolution. A review of M. H. Christiansen and S. Kirby 2003. Language evolution (Oxford: Oxford University Press). PLoS Biology 2(10): 1519–1520 (e346).
- Szigetvári Péter 2001. Szótagtalan fonológia. In: Siptár (2001, 37–76).
- Wickens, Christopher D. 1980. The structure of attentional resources. In: Nickerson, Raymond S. (szerk.): Attention and performance VIII. London –New York: Routledge. 239–257.

Optimality Theory and fast speech: From a grammar model to modelling speech to experiments

Abstract: The distinction between competence and performance introduced by Chomsky [1965], as interpreted by Newmeyer [1983], is applied to Optimality Theory. Smolensky and Legendre [2006], as well as Bíró [2006] introduced a model of performance that is based on connectionist or symbolic Harmony Grammar, or on Optimality Theory as a model of linguistic competence. In this algorithm called *simulated annealing*, the probability of producing the global optimum is reduced when fewer computational resources are available to the algorithm. In the second half of the article, an experimental paradigm – based on Schreuder and Gilbers [2004] – is introduced to collect fast speech data, in order to decide which forms our grammar ought to yield as grammatical. Based on the results, I argue that the front suffix is the grammatical choice for vacillating stems in Hungarian vowel harmony, whereas the back suffix is an alternative produced by performance. Finally, I reflect on the experimental methodology from the perspective of a computational linguist.

Keywords: Optimality Theory; fast speech; simulated annealing; vowel harmony; quiz question paradigm
