Optimalitáselmélet és véges állapotú módszerek

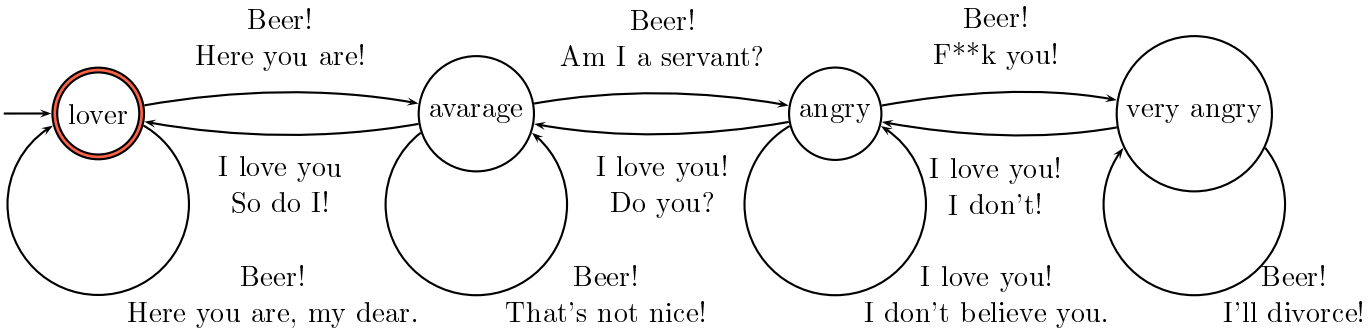
Tamás Bíró

2003. október 14.

1 Véges állapotú automaták / transzducerek

Véges állapotú automaták által elfogadott nyelvek = reguláris grammatikával leírható nyelvek = reguláris kifejezéssel megadható nyelvek.

Hogyan képzelik el a férfiak a nőket?



E szerint a modell szerint az alábbi párbeszéd grammatikus:

$$\left\{\begin{array}{c}\textit{Beer!}\\ \textit{Here you are!}\end{array}\right\}\left\{\begin{array}{c}\textit{Beer!}\\ \textit{Am I a servant?}\end{array}\right\}\left\{\begin{array}{c}\textit{I love you!}\\ \textit{Do you?}\end{array}\right\}\left\{\begin{array}{c}\textit{Beer!}\\ \textit{That's not nice}\end{array}\right\}\left\{\begin{array}{c}\textit{Beer!}\\ \textit{That's not nice}\end{array}\right\}\left\{\begin{array}{c}\textit{I love you}\\ \textit{So do I!}\end{array}\right\}$$

Ez viszont agrammatikus:

$$^{*}\left\{\begin{array}{c}\textit{Beer!}\\ \textit{Here you are!}\end{array}\right\}\left\{\begin{array}{c}\textit{I love you!}\\ \textit{Do you?}\end{array}\right\}\left\{\begin{array}{c}\textit{I love you!}\\ \textit{I don't!}\end{array}\right\}$$

Miért nem működik egy párkapcsolat, ha egy férfi így gondolkodik?

Nincs hosszútávú memória a modellben!

Hogyan lehet ilyen modellt *komoly* dolgokra is használni?

Memória hiánya miatt nem alkalmazható például a következők leírására:

– long-distance dependencies (Chomsky 1957: az angol szintaxis nem írható le reguláris nyelvként)
– reduplikatív morfológia (kiv. ha véges lexikon,...)

2 Véges állapotú Optimalitáselmélet

Johnson, 1972: az SPE környezetfüggő szabályai többsége valójában reguláris.
Három lehetséges architektúra a véges állapotú morfo/fonológiában:

– Párhuzamos (two-level morphology, Kimmo Koskenniemi, 1983.)
– Szeriális (Kaplan and Kay, 1994.)
– OT (Frank and Satta, 1998; Karttunen, 1998; Gerdemann and van Noord, 2000; Jäger, 2002.)

Optimalitáselmélet:

– Gen: leképezés az UR-ról a candidate-halmazra
– Eval: szintről szintre kiszűrni a nem optimálisakat:
  * Megfogalmazni a constraint-et
  * szűrés, az összes vetélytárs függvényében

3 A Gen, mint véges állapotú leképezés

Van, ami nem (biztos, hogy) megvalósítható, pl. reduplikativ morfológia.
Szótagszerkezet: ld. Karttunen, 1998.; Gerdemann and van Noord, 2000.
Metrikus hangsúly:

$$word = \# \left| \left\{ \begin{array}{c} unparsed\ syllable \\ non\text{-}head\text{-}foot \end{array} \right\}^* \right| head\text{-}foot \left| \left\{ \begin{array}{c} unparsed\ syllable \\ non\text{-}head\text{-}foot \end{array} \right\}^* \right| \#$$

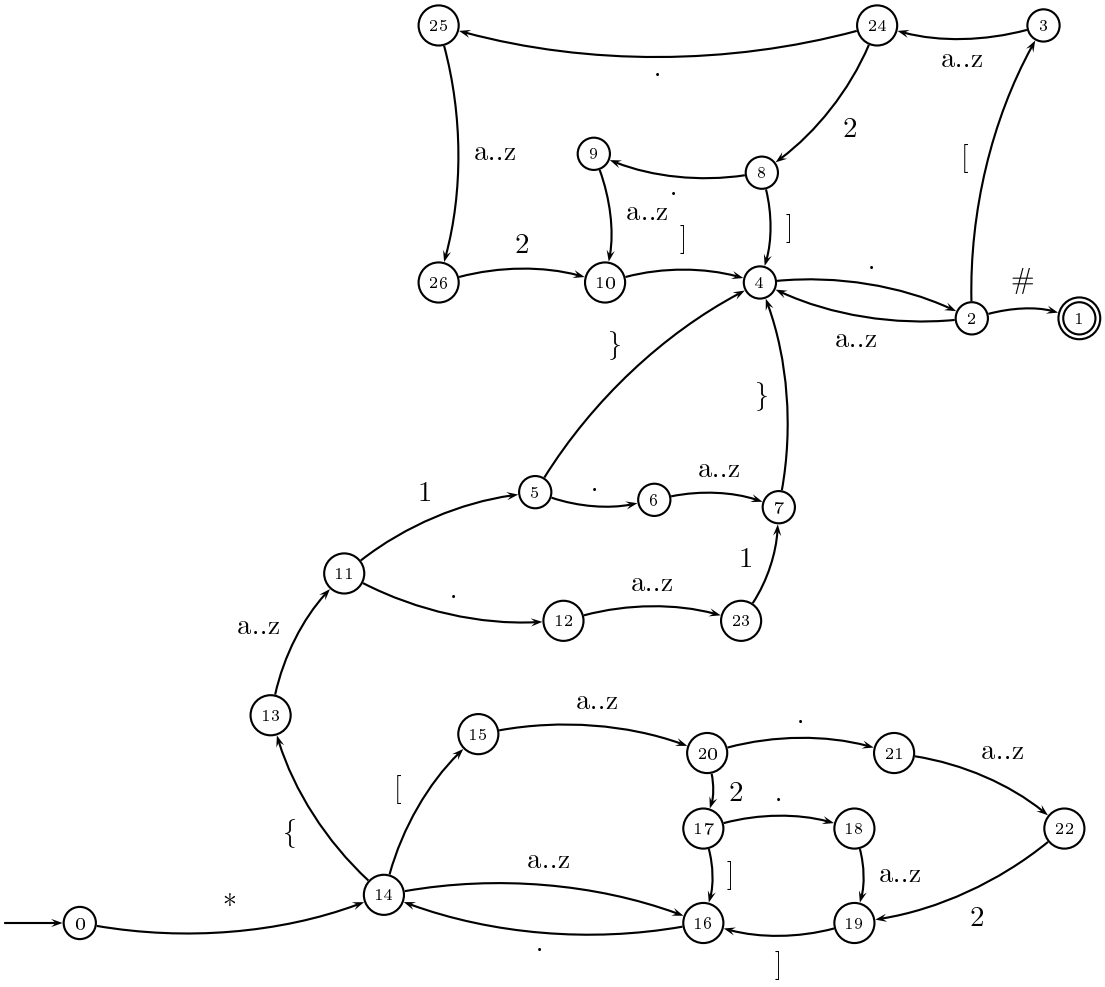
$$unparsed\ syllable = phonemes^*|.$$

$$non\text{-}head\text{-}foot = \left\{ \begin{array}{c} phonemes^*|2|. \\ phonemes^*|2|.|phonemes^*|. \\ phonemes^*|.|phonemes^*|2|. \end{array} \right\}$$

$$head\text{-}foot = \left\{ \begin{array}{c} phonemes^*|1|. \\ phonemes^*|1|.|phonemes^*|. \\ phonemes^*|.|phonemes^*|1|. \end{array} \right\}$$

Ezek reguláris kifejezések, amelyekből egyszerűen megépíthető egy transzducer (pl. Gertjan van Noord *FSA Tools*-a: `http://www.let.rug.nl/~vannoord/Fsa/`).

Az eredmény:



* ab.ra.ka.dab.ra.#

↓

FST in state S

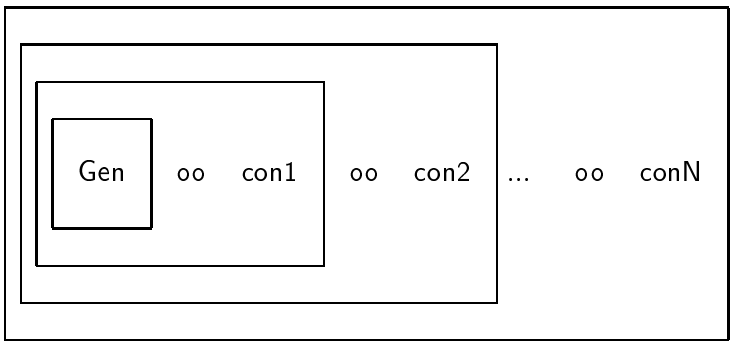
↓

* ab.{ra.ka1}.[dab2.ra].#

4 Az Eval megvalósíthatósága a FS OT-ban

Probléma: az, hogy adott jelölt túlél-e egy szintet, függ attól, hogy milyen más jelöltek kerültek még be az adott szintbe.

$$\mathsf{Inp} \ \mathsf{oo} \ \mathsf{con}_i := \{< i, o > | < i, o > \in \mathsf{Inp} \text{ és } \forall < i, o' > \in \mathsf{Inp} : < i, o > \succeq_{\mathsf{con}_i} < i, o' >\}$$



Két feladatunk van:

- Megfogalmazni az egyes constraint-eket FST-kkel.
- Megoldani a szűrést.

Frank and Satta (1998.) és Karttunen (1998.):

Lenient composition:

- Két szint (van sértés vagy nincs sértés).
- Minden contraint-hez egy transducer: a contraint-et kielégítő sztringek halmaza:

$$T_C := Ident_{\{w|w\in\Sigma^*, C(w)=0\}}$$

- Szűrés:

$$OT \text{ oo } C := (OT \text{ o } T_C) \cup (Ident_{\overline{domain(OT \text{ o } T_C)}} \text{ o } OT)$$

- Véges n számú szint: szűrők sorozata (counting approach).

Gerdemann and van Noord (2000.):

Matching approach:

- Nincs határ a sértések számára.
- Minden constraint-hez FST (T_C): a sértéseket beírjuk a sztringbe.
  - Bizonyos mértékű lokalitás
  - Max. lineáris constraintek
- Kreáljuk meg a nem-optimális jelöltek halmazát:
  - További sértés-jelek hozzáadása (addviol).
  - Sértés-jelek permutálása n-szer (permute_mark_n).
  - Ha túl sok sértés: ez csupán n-ed rendű közelítés.
- Szűrés:

$$OT \textbf{ oo } C := (OT \text{ o } T_C) \text{ o } Ident_{\overline{range(OT \text{ o } T_C \text{ o addviol o } \text{permute\_mark}_n)}} \text{ o delete\_mark}$$

Jäger (2002.):

Generalized matching approach:

- Nincs határ a sértések számára.
- T_C: leképez minden jelöltet a nála kevésbé optimális jelöltek halmazára.
- Szűrés:

$$OT \circ\!\circ\ C := OT \circ Ident_{\overline{range(OT \circ T_C)}}$$

5 Hangsúly-constraintek FS OT-vel

A constraint-ek javasolt tipológiája:

1. Maximálisan 1 (vagy konstans) sértés / szó.
2. A sértések maximális száma arányos a szó hosszával.
3. A sértések maximális száma gyorsabban nő, mint a szó hossza.

1. típus: a szűrés könnyen megvalósítható (Frank and Satta 1998, Karttunen 1998):

- ALIGN(Word,Foot,Left): align left edge of word with left edge of some foot.

Nem biztos, hogy a constraint megfogalmazható FS-ként (természetes nyelveknél előfordulhat? Ld. J. Eisner-féle OTP):

- MatchesOutputOfSPE: The output matches the result of applying Chomsky & Halle (1968) to the input. (J. Eisner, 1999)

2a. típus: a sértésjelek száma max. arányos a szó hosszával, és a sértés-jelek "szépen" helyezkednek el (pl. a szó széléhez igazodnak).

- ALIGN(Main-foot,Word,Left): align head-foot with word, left edge.
  $\sigma * \sigma * \sigma * [\sigma\ \sigma 1]\ \sigma\ \sigma$

Az előforduló constraint-ek megfogalmazhatóak, és a szűrés megvalósítható (Gerdemann és van Noord (2000), 0 permutációval).

2b. típus: a sértésjelek max. száma arányos a szóhosszal, de bárhol elhelyezkedhetnek.

- Parse-syllable: each syllable must be footed.
- Iambic: align the right edge of each foot with its head syllable.

A szűrés nem megvalósítható! (Kivéve, ha maximalizáljuk a sértések számát, azaz a szó hosszát, akkor n permutációval.)

A használt constraint-ek többsége ide tartozik: lokálisak, és a sértésjeleket kihelyező T_C megfogalmazható.

3. típus: a sértésjelek száma gyorsabban nő, mint a szó hossza. Pl. kvadratikus constraint-ek (v.ö. Eisner (1997.), Bíró (2003.)):

- ALIGN(Foot,Word,Left): align each foot with the word, left edge.

Már a sértésjeleket se tudjuk kiosztani (a 'pumping lemma' következménye):

Theorem: Let **T** be a functional finite state transducer. Then there exists a linear upper bound on the length of the output, *i.e.* there exists a positive integer N such that for any input string σ (for which there exists an output $T(\sigma)$) the following holds:

$$\mid T(\sigma) \mid \leq N \mid \sigma \mid$$

Tanulság:

Hypotheses underlying OT (explicit in McCarthy 2002):

- *Locus hypothesis*: A violation mark is assigned for each *locus* of violation within a candidate.
- *Gradience hypothesis*: Some constraints are gradient: multiple violations to a single locus.
- *Homogeneity hypothesis*: Multiple violations of a constraint from either source are added together in evaluating a candidate.

ALIGN(Main-foot,Word,Left): gradient, de átfogalmazható.

Ne használjunk "gradient constraint"-eket: fogalmazzuk át, vagy kerüljük ki őket:

- McCarthy (2002.) szerint "they are harmful"
- Erősebb generatív erejük van, mint FS.

6 Tanulás FS OT-val

7 Irodalom

Douglas C. Johnson (1972), *Formal Aspects of Phonological Description*

Robert Frank and Giorgio Satta (1998): *Optimality Theory and the Generative Complexity of Constraint Violability*, Computational Linguistics 24, 2, pp. 307-315.

Lauri Karttunen (1998): *The proper treatment of optimality theory in computational phonology*, in: *Finite-state Methods in NLP*, pp. 1-12, Ankara.

Jason Eisner: *Doing OT in a Straitjacket*, ld. J. Eisner honlapján.

Dale Gerdemann and Gertjan van Noord (2000): *Approximation and Exactness in Finite State Optimality Theory*, in: Jason Eisner, Lauri Karttunen, Alain Thériault (eds): *SIGPHON 2000, Finite State Phonology.*

Gerhard Jäger (2002): *Gradient constraints in finite state OT: The unidirectional and the bidirectional case*, ROA-479; későbbi változat: *Recursion by optimazation: On the complexity of bidirectional Optimality Theory*, Natural Language Engineering.

John J. McCarthy (2002): *Against Gradience*, ROA-510.

Tamás Bíró: *Quadratic Alignment Constraints and Finite State Optimality Theory*, Proceedings of the Workshop on Finite-State Methods in Natural Language Processing (FSMNLP), in the framework of EACL 10, Budapest.