Optimalitáselmélet és analógia: *tényleg kiengesztelhetetlen ellentét?*

Biró Tamás

Eötvös Loránd Tudományegyetem

KAFA, 2017. május 17.

Áttekintés

1. Analógia vs. optimalitáselmélet
2. „Jólrendezett” optimalitáselmélet
3. Végtelen sok constraint
4. Egy első próbálkozás: „sztringnyelvtan” (mint toy grammar)
5. Összefoglalás

Áttekintés

1 Analógia vs. optimalitáselmélet

2 „Jólrendezett” optimalitáselmélet

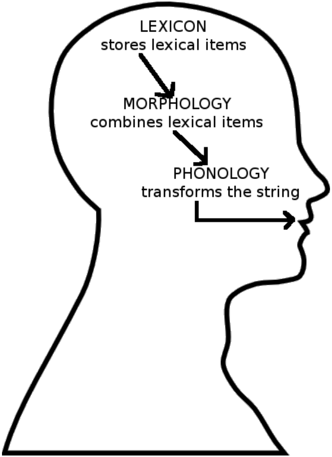
3 Végtelen sok constraint

4 Egy első próbálkozás: „sztringnyelvtan” (mint toy grammar)

5 Összefoglalás

Hagyományos SPE- és OT-felfogás a fonológiáról

- Elképzelés: szeriális modulok.
- Fonológia: $u \mapsto \mathrm{SF}(u)$ leképezés.
- A leképezés leírása:
  szabályok sorozatával
  vagy Gen+Eval segítségével.
- Nem képes a felszíni alakok közötti kölcsönhatásokat (így az analógiás jelenségeket sem) visszaadni?



Analógia és optimalitáselmélet

Javaslat:

- Jelöltségi/*markedness* konsztréntek
- Hűségi/*faithfulness* konsztréntek

+ A nyelvben lévő szavak mint konsztréntek:
  $\mathrm{A}[w](x) =$ az x jelölt „távolsága” a w lexikai elemtől.

/u/	C_1	$\mathrm{A}[w_1]$	$\mathrm{A}[w_2]$	...	C_2
x_1	$C_1(x_1)$	$\mathrm{A}[w_1](x_1)$	$\mathrm{A}[w_2](x_1)$	...	$C_2(x_1)$
x_2	$C_1(x_2)$	$\mathrm{A}[w_1](x_2)$	$\mathrm{A}[w_2](x_2)$	...	$C_2(x_2)$
x_3	$C_1(x_3)$	$\mathrm{A}[w_1](x_3)$	$\mathrm{A}[w_2](x_3)$	...	$C_2(x_3)$
...					

Analógia és optimalitáselmélet

Kérdések:

- A nyelvben lévő szavak mint konsztréntek:
  $A[w](x) =$ az x jelölt „távolsága” a w lexikai elemtől?
- Rendezés w és /u/ hasonlósága alapján?
- A lexikon **minden** w elemére: hogyan kezelendő a „...”?

/u/	C_1	$A[w_1]$	$A[w_2]$	...	C_2
x_1	$C_1(x_1)$	$A[w_1](x_1)$	$A[w_2](x_1)$	...	$C_2(x_1)$
x_2	$C_1(x_2)$	$A[w_1](x_2)$	$A[w_2](x_2)$	...	$C_2(x_2)$
x_3	$C_1(x_3)$	$A[w_1](x_3)$	$A[w_2](x_3)$	...	$C_2(x_3)$
...					

Áttekintés

1 Analógia vs. optimalitáselmélet

2 „Jólrendezett” optimalitáselmélet

3 Végtelen sok constraint

4 Egy első próbálkozás: „sztringnyelvtan” (mint toy grammar)

5 Összefoglalás

Rendezési relációk

Definíció:

$\underline{\underline{\mathcal{R}}} \subseteq U \times U$ ***részbenrendezés*** *U-n, ha teljesül minden $a, b, c \in U$-ra*

1. *reflexivitás: $a \underline{\underline{\mathcal{R}}} a$,*
2. *antiszimmetria: ha $a \underline{\underline{\mathcal{R}}} b$ és $b \underline{\underline{\mathcal{R}}} a$, akkor $a = b$, és*
3. *a tranzitivitás: ha $a \underline{\underline{\mathcal{R}}} b$ és $b \underline{\underline{\mathcal{R}}} c$, akkor $a \underline{\underline{\mathcal{R}}} c$.*

Teljes rendezés: bármely két elem relációban áll egymással.

Definíció:

$\underline{\underline{\mathcal{R}}}$ ***teljes rendezés*** *(a.k.a., lineáris rendezés, rendezés) U-n, ha*

1. *$\underline{\underline{\mathcal{R}}}$ (reflexív, antiszimmetrikus és tranzitív) részbenrendezés, és*
2. *minden $a, b \in U$-ra, $a \underline{\underline{\mathcal{R}}} b$ vagy $b \underline{\underline{\mathcal{R}}} a$.*

Rendezési relációk

Definíció:

*Az $(U, \leq)$ rendezett halmaz **jólrendezett**, ha U alaphalmaz bármely nemüres A részhalmazának van legkisebb eleme, amelyet A tartalmaz.*

Ha $A \subseteq U$, akkor $\exists m (\equiv \min A) \in A : \forall x \in A : m \leq x$.

Egy jólrendezett halmaz bármely nem üres részhalmazának pontosan egy legkisebb eleme van (antiszimmetria miatt). **Példák** jólrendezett halmazokra:

- A természetes számok halmaza.
- Transzfinit számok, például $\{1, 2, \ldots, \omega, \omega + 1, \ldots\}$.
- $\{1, 2 - \frac{1}{2}, 2 - \frac{1}{3}, 2 - \frac{1}{4}, 2 - \frac{1}{5}, \ldots, 2, 3 - \frac{1}{2}, 3 - \frac{1}{3}, \ldots, 3, \ldots\}$.

BT: *inverz-jólrendezett*, ha megfordul a reláció iránya (*legkisebb* helyett *legnagyobb*).

Rendezési relációk

Definíció:

*Az $(U, \leq)$ rendezett halmaz **jólrendezett**, ha U alaphalmaz bármely nemüres A részhalmazának van legkisebb eleme, amelyet A tartalmaz.*

Ha $A \subseteq U$, akkor $\exists m (\equiv \min A) \in A : \forall x \in A : m \leq x$.

Egy jólrendezett halmaz bármely nem üres részhalmazának pontosan egy legkisebb eleme van (antiszimmetria miatt). **Ellenpéldák:**

- Az egész számok halmaza.
- A $[0; 1]$ intervallumban lévő valós számok halmaza.
- $\{1, \ldots, 1 + \frac{1}{5}, 1 + \frac{1}{4}, 1 + \frac{1}{3}, 1 + \frac{1}{2}, 2, \ldots, 2 + \frac{1}{3}, 2 + \frac{1}{2}, 3, \ldots\}$.

Utóbbi **inverz-jólrendezett**: megfordul a reláció iránya (*legkisebb* helyett *legnagyobb*).

Jólrendezett halmazok az OT-ben: sértési szintek

Miért jó ez nekünk, OT-val foglalkozó nyelvészeknek?

- Egy C_i constraint mint függvény:

$$C_i : \bigcup_{u \in \mathcal{U}} \mathrm{Gen}(u) \rightarrow \mathcal{V}_i$$

$\mathcal{U}$ a bemenetek halmaza. $\mathrm{Gen}(u)$ az u-hoz tartozó jelöltek halmaza.

- Milyen halmaz $\mathcal{V}_i$, egy konsztrént mint függvény értékkészlete?
- Például $\mathcal{V}_i = \mathbb{N}_0$, a természetes (nem negatív egész) számok halmaza, egy OT-táblázat cellájában lévő csillagok száma.

- **Állítás:** elegendő megkövetelni, hogy $\mathcal{V}_i$ jólrendezett halmaz!

Jólrendezett halmazok az OT-ben: sértési szintek

Miért jó ez nekünk, OT-val foglalkozó nyelvészeknek?

- Egy C_i constraint mint függvény:

$$C_i : \bigcup_{u \in \mathcal{U}} \mathrm{Gen}(u) \to \mathcal{V}_i$$

  $\mathcal{U}$ a bemenetek halmaza. $\mathrm{Gen}(u)$ az u-hoz tartozó jelöltek halmaza.

- Milyen halmaz $\mathcal{V}_i$, egy konsztrént mint függvény értékkészlete?
- Például $\mathcal{V}_i = \mathbb{N}_0$, a természetes (nem negatív egész) számok halmaza, egy OT-táblázat cellájában lévő csillagok száma.
- **Állítás:** elegendő megkövetelni, hogy $\mathcal{V}_i$ jólrendezett halmaz!

Jólrendezett halmazok az OT-ben: sértési szintek

Miért jó ez nekünk, OT-val foglalkozó nyelvészeknek?

- Egy C_i constraint mint függvény:

$$C_i : \bigcup_{u \in \mathcal{U}} \mathrm{Gen}(u) \rightarrow \mathcal{V}_i$$

$\mathcal{U}$ a bemenetek halmaza. $\mathrm{Gen}(u)$ az u-hoz tartozó jelöltek halmaza.

- Milyen halmaz $\mathcal{V}_i$, egy konsztrént mint függvény értékkészlete?
- Például $\mathcal{V}_i = \mathbb{N}_0$, a természetes (nem negatív egész) számok halmaza, egy OT-táblázat cellájában lévő csillagok száma.

- **Állítás:** elegendő megkövetelni, hogy $\mathcal{V}_i$ jólrendezett halmaz!

Jólrendezett halmazok az OT-ben: sértési szintek

Állítás:

Elegendő annyit megkövetelni, hogy $\mathcal{V}_i$ jólrendezett halmaz legyen.

Példa: a véges szonoritási skálára épülő HNUC konsztrént az Imdlawn Tashlhiyt berber szótagoláshoz (P&S 1993/2004):

(17) **Parallel Analysis of Complete Syllabification** of /txznt/

Candidates	ONS	HNUC		Comments
☞ .tX.zNt.		n	x	optimal
.Tx.zNt.		n	t !	|n| = |n|, |t| < |x|
.tXz.nT.		x !	t	|x| < |n|, t irrelevant
.txZ.Nt.	* !	n	z	HNUC irrelevant
.T.X.Z.N.T.	* ! ***	n z x t t		HNUC irrelevant

Jólrendezett halmazok az OT-ben: sértési szintek

Állítás:

Elegendő annyit megkövetelni, hogy $\mathcal{V}_i$ jólrendezett halmaz legyen.

Ellenpéldák:

- Pozitív OT: jutalom, nem csak büntetés?
  „Csóknyelvtan”: rekurzív epentézis + a bilabiális click jutalmazása.
- Valós értékű konsztréntek: $C_i(x) \in \mathbb{R}$?
  A távolság reciprokával csökkenő büntetést kiosztó konsztrént.

Jólrendezett halmazok az OT-ben $\rightarrow$ az OT működik!

Állítás: elegendő megkövetelni, hogy $\mathcal{V}_i$ jólrendezett halmaz.

Állítás:

OT-nyelvtan: legyen $\forall i = 1, ..., n$*-re* $C_i : \bigcup_{u \in \mathcal{U}} \mathrm{Gen}(u) \rightarrow \mathcal{V}_i$ *jólrendezett.* *(*$C_1 \gg C_2 \gg \ldots \gg C_n$*.) Ekkor létezik optimális „sértési profil”-lal rendelkező optimális részhalmaza* $\mathrm{Gen}(u)$*-nak bármely* $u \in \mathcal{U}$*-hoz.*

Bizonyítás: Fokozatosan szűrjük a jelöltek halmazát az OT-táblában balról jobbra haladva. A C_i konsztréntig eljutó jelöltek nem üres halmaza legyen: $G_i \subseteq \mathrm{Gen}(u)$. Tekintsük a $V = \{C_i(x) | x \in G_i\} \subseteq \mathcal{V}_i$ nem üres halmazt. **Mivel** $\mathcal{V}_i$ **jólrendezett**, létezik V-nek pontosan egy $\min(V) \in V$ eleme. Ezért a C_i-t túlélő jelöltek halmaza $G_{i+1} = \{x \in G_i | C_i(x) = \min(V)\}$ nem üres. Teljes indukcióval megmutatható, hogy az utolsó constraintet is túlélő jelöltek G_{i+1} halmaza sem üres, és minden elemének ugyanaz a sértési profilja. $\square$

Vegyük észre: fontos, hogy véges számú konsztrént van!

Áttekintés

1. Analógia vs. optimalitáselmélet
2. „Jólrendezett” optimalitáselmélet
3. Végtelen sok constraint
4. Egy első próbálkozás: „sztringnyelvtan” (mint toy grammar)
5. Összefoglalás

De OT nem működik, ha végtelen sok konsztrént van!

Példa:

/u/	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	...
x_1	1					
x_2		1				
x_3			1			
x_4				1		
x_5					1	
...						...

Végtelen sok jelölt, végtelen sok konsztrént, nincs optimális jelölt.

Vagy mégis?

De OT nem működik, ha végtelen sok konsztrént van!

Példa:

/u/	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	...
x_1	1					
x_2		1				
x_3			1			
x_4				1		
x_5					1	
...						...

Végtelen sok jelölt, végtelen sok konsztrént, nincs optimális jelölt.

Vagy mégis?

OT nem működik, ha végtelen sok konsztrént van

Összefoglalás eddig:

- Analógia: a lexikon szavai is konsztréntekké válnak.
- De a lexikonban lévő szavak száma „kvázi-végtelen”:
  kezelhető egy ilyen OT-nyelvtan?
- Általános esetben, ha végtelen sok konsztrént és végtelen sok jelölt van, nem garantálható, h. van $\mathrm{Gen}(u)$-nak optimális eleme.
- Most nézzünk meg három javaslatot,
  amely esetekben lesz $\mathrm{Gen}(u)$-nak optimális eleme.

Javaslat 1: két jelölt

Állítás:

Legyen a konsztréntek $(\mathrm{CON}, \gg)$ *halmaza egy inverz-jólrendezett halmaz. Ekkor eldönthető, hogy két jelölt,* $x \neq y \in \mathrm{Gen}(u)$ *közül melyik a harmonikusabb, avagy egyenlő a harmóniájuk.*

Bizonyítás: Legyen $D = \{C \in \mathrm{CON} | C(x) \neq C(y)\} \subseteq \mathrm{CON}$ azon konsztréntek halmaza, amelyek eltérően értékelik a két jelöltet.
Ha D üres halmaz, akkor x és y harmóniája egyenlő.
Ellenkező esetben, mivel $(\mathrm{CON}, \gg)$ inverz-jólrendezett, D-nek van legnagyobb eleme, $C_f \equiv \max(D) \in D$ *(fatális konsztrént).*
C_f értékkészlete teljesen rendezett, de $C_f(x) \neq C_f(y)$. Ezért két lehetőség maradt: vagy $C_f(x) > C_f(y)$, vagy $C_f(y) > C_f(x)$. Az első esetben y a harmonikusabb jelölt, a másodikban pedig x. □

Javaslat 1: két jelölt

Lemma

Tranzitivitás: *Legyen $x, y, z\, \mathrm{Gen}(u)$. Ha x harmonikusabb, mint y, és y harmonikusabb, mint z, akkor x harmonikusabb, mint z.*

Bizonyítás: Legyen $C_{f/xy}$ a fatális konsztrént x és y összehasonlítása során: $C_{f/xy}(y) > C_{f/xy}(x)$, és minden $C_i \gg C_{f/xy}$-re $C_i(y) = C_i(x)$. Hasonlóképpen, legyen $C_{f/yz}$ a fatális konsztrént y és z összehasonlítása során: $C_{f/yz}(z) > C_{f/yz}(y)$, és minden $C_j \gg C_{f/yz}$-re $C_j(z) = C_j(y)$. Három eset van: $C_{f/xy} \gg C_{f/yz}$ vagy $C_{f/yz} \gg C_{f/xy}$ vagy $C_{f/xy}(y) = C_{f/yz}(y)$. Mindhárom esetben külön-külön megmutatható, hogy a $C_{f/xz}$ fatális konsztrént x és z összehasonlítása során éppen $C_{f/xy}$ és $C_{f/yz}$ közül a magasabbra rendezett, és hogy $C_{f/xz}(z) > C_{f/xz}(x)$. $\square$

Javaslat 1: véges sok jelölt

Állítás:

Legyen a konsztréntek $(\mathrm{CON}, \gg)$ *halmaza egy inverz-jólrendezett halmaz. Legyen* $G \subseteq \mathrm{Gen}(u)$ *jelöltek nem üres véges halmaza. Ekkor létezik* G*-nek optimális eleme(i).*

Bizonyítás: Teljes indukció G elemszámára. Ha $|G| = 1$, az állítás magától értetődő.

Tegyük fel, hogy $|G| = k > 1$, és $k-1$-re az állítás igaz. Ekkor legyen g egy tetszőleges eleme G-nek, és $G' = G \setminus \{g\}$. A $k-1$ elemű G' halmaznak az indukciós feltevés szerint létezik $\mathrm{opt}(G')$ optimális eleme.

Ekkor a tranzitivitás miatt g vagy $\mathrm{opt}(G')$ optimális eleme lesz G-nek. $\square$

Javaslat 1: véges sok jelölt

Hasznos nekünk ez az eredmény?

- Véges Gen: pl. metrikus hangsúly.
- Véges és restricted Gen: pl. harmonic serialism.
- Mindig csak két jelöltet hasonlítunk össze: szimulált hőkezelés.
- . . . ?

OT nem működik, ha végtelen sok konsztrént van

Példa:

/u/	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	...
x_1	1					
x_2		1				
x_3			1			
x_4				1		
x_5					1	
...						...

Végtelen sok jelölt, végtelen sok konsztrént, nincs optimális jelölt.

Vagy mégis?

Javaslat 2: kötelező eltérés az elején

Létezik olyan k, hogy bármely két jelölt sértési profiljának első k eleme között van eltérő $=$ Bármely két jelölt összehasonlítása során a fatális konsztrént CON legmagasabbra rendezett k konsztréntja közül kerül ki.

Azonban k függhet a bemenettől:

Hipotézis:

Minden $u \in \mathcal{U}$-hoz $\exists k_u \in \mathbb{N}$, hogy

$$\forall x, y \in \mathrm{Gen}(u)\text{-re: ha létezik } C_{f/xy} \text{ fatális konsztrént,}$$

$$\text{akkor } \left| \left\{ C \in \mathrm{CON} | C \gg C_{f/xy} \right\} \right| < k.$$

Minden /u/ bemenet esetén $\mathrm{Gen}(u)$ kiértékelése során elegendő az első k_u constraintet használni: a szuboptimális jelöltek ezalatt kiesnek. Ha $\mathcal{U}$ végtelen, lehet, hogy végtelen sok constraintet használ a nyelv.

OT nem működik, ha végtelen sok konsztrént van

Példa:

/u/	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	...
x_1	1					
x_2		1				
x_3			1			
x_4				1		
x_5					1	
...						...

Végtelen sok jelölt, végtelen sok konsztrént, nincs optimális jelölt.

Vagy mégis?

Javaslat 3: véges áteresztők

Olyan C_i konsztrént, amely bármely v sértési szintet csak véges számú jelöltnek oszt ki (adott u bemenet mellett):

Definíció:

*A $C_i : \bigcup_{u \in \mathcal{U}} \mathrm{Gen}(u) \rightarrow \mathcal{V}_i$ konsztrént **véges áteresztő** adott u bemenet mellett, ha $\forall v \in \mathcal{V}_i$-re a $C_i^{-1}(v) \cap \mathrm{Gen}(u)$ halmaz véges.*

Példa és ellenpélda:

- ALIGN[MainFoot,Word,Right] (= a főláb és a szó jobb határa távolsága): ha elég hosszú a jelölt, bármilyen sok v számú csillagot adhat neki, de adott bemenethez csak véges számú olyan jelölt van, amelyben a MainFoot és a Word jobb határainak a távolsága éppen v.
- *[x] (az [x] szegmentum előfordulásainak a száma): epentézissel végtelen sok olyan jelölt generálható, amely v számú [x]-et tartalmaz.

Javaslat 3: véges áteresztők

Olyan C_i konsztrént, amely bármely v sértési szintet csak véges számú jelöltnek oszt ki (adott u bemenet mellett).

Állítás:

Ha CON *csak véges számú olyan konsztréntet tartalmaz, amely* ***nem*** *véges áteresztő* u *mellett, akkor létezik* $\mathrm{Gen}(u)$*-nak optimális eleme.*

Bizonyítás: Véges számú filterezés után, előbb-utóbb, egy véges áteresztő fog filterezni. Ekkor a még életben lévő jelöltek halmaza garantáltan véges halmazra redukálódik.
Ezután ld. a fent bebizonyított állítást.

OT nem működik, ha végtelen sok konsztrént van

Összefoglalás eddig:

- Analógia: a lexikon szavai is konsztréntekké válnak.
- De a lexikonban lévő szavak száma „kvázi-végtelen”:
  kezelhető egy ilyen OT-nyelvtan?
- Általános esetben, ha végtelen sok konsztrént és végtelen sok jelölt van, nem garantálható, h. van $\mathrm{Gen}(u)$-nak optimális eleme.
- De láttunk három javaslatot,
  amely esetekben van $\mathrm{Gen}(u)$-nak optimális eleme.

Áttekintés

1. Analógia vs. optimalitáselmélet
2. „Jólrendezett” optimalitáselmélet
3. Végtelen sok constraint
4. Egy első próbálkozás: „sztringnyelvtan” (mint toy grammar)
5. Összefoglalás

Stringnyelvtan (toy grammar)

- Σ: véges ábécé, pl. $\{a, b, c, \ldots, z\}$.
  Szegmentumok, de egyéb információ (pl. szófaj, szemantika) is.
- $\mathcal{U} = \Sigma^*$. $\mathrm{Gen}(u) = \Sigma^*$.
- Jelöltségi konsztréntek véges számban.
  Pl. *[a], ASSZIMILÁCIÓ, DISSZIMILÁCIÓ.
- Hűségkonsztréntek véges számban.
  Pl. edit distance *u* és a jelölt között.
- Lexikon (felszíni szókincs, E-language): tetszőleges $\mathcal{L} \subseteq \Sigma^*$.

Stringnyelvtan (toy grammar)

- Σ: véges ábécé, pl. $\{a, b, c, \dots, z\}$. $\mathcal{U} = \Sigma^*$. $\mathrm{Gen}(u) = \Sigma^*$.
- Jelöltségi konsztréntek véges számban.
- Hűségkonsztréntek véges számban.

- Lexikon: $\mathcal{L} \subseteq \Sigma^*$.
- Ha $l \in \mathcal{L}$, akkor bevezetünk l-hez A$[l, p, s]$ analógiás konsztréntet:
  - p prefixum, s pedig szufixum l-ben.
  - A$[l, p, s](w) = 1$,
    ha p prefixum (w-ben v. u-ban?), de s nem szufixum w-ben.
  - A$[l, p, s](w) = 0$, egyébként.
  - $\mathrm{Gen}(u)$ kiértékelése során A$[l_1, p_1, s_1] \gg$ A$[l_2, p_2, s_2]$
    a.cs.a, ha D edit distance-szel $D(u, l_1) < D(u, l_2)$.

Stringnyelvtan (toy grammar)

- Ha $l \in \mathcal{L}$, akkor bevezetünk l-hez A[l, p, s] analógiás konsztréntet:
  - p prefixum, s pedig szufixum l-ben.
  - A[l, p, s]$(w) = 1$,
    ha p prefixum (w-ben v. u-ban?), de s nem szufixum w-ben.
  - A[l, p, s]$(w) = 0$, egyébként.
  - $\mathrm{Gen}(u)$ kiértékelése során A[l_1, p_1, s_1] $\gg$ A[l_2, p_2, s_2]
    a.cs.a, ha D edit distance-szel $D(u, l_1) < D(u, l_2)$.
- Végtelen sok jelölt, végtelen sok nem véges áteresztő konsztrént!
- De csak véges sok konsztrént játszik ténylegesen:
  - w/u-ban véges sok p prefixum, csak ezekkel játszik A[l, p, s].
  - A[l_1, p, s] és A[l_2, p, s] közül a második nem játszik,
    ha $D(u, l_1) < D(u, l_2)$.
- Azonban *ganging-up cumulativity* sztochasztikus OT-ban…

Áttekintés

1 Analógia vs. optimalitáselmélet
2 „Jólrendezett” optimalitáselmélet
3 Végtelen sok constraint
4 Egy első próbálkozás: „sztringnyelvtan” (mint toy grammar)
5 Összefoglalás

Összefoglalás

- Van értelme megpróbálni az OT-n belül kezelni az analógiát.
- Túl a meghatározott alakhoz való hűséget mérő Output-Output Correspondence-en...
- Ehhez lehet, hogy az OT-t matematikailag kicsit gazdagítani kell.
- További kérdések: HG? Sztochasztikus OT? Konkrét adatok?

Köszönöm a figyelmet!

Biró Tamás:
biro.tamas@btk.elte.hu

Tools for Optimality Theory
http://www.birot.hu/OTKit/

A kutatást az *Európai Unió* 7. keretprogramján belül egy *Marie Curie CIG ösztöndíj* (PCIG14-GA-2013-631599, “MeMoLI”) tette lehetővé.