



Mesterséges  
Intelligencia

Csató Lehel

# Mesterséges Intelligencia

Csató Lehel

Matematika-Informatika Tanszék  
Babeş–Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár

2007/2008



# Az Előadások Témái

Mesterséges  
Intelligencia

2

Csató Lehel

Reprezentáció

Állapottré

Keresés

Hill-climbing

Backtracking

Gráfkeresés

Dekompozíció

Predikátumkalkulus

Keresőrendszerek

- Bevezető: mi a *mesterséges* intelligencia ...
- „Tudás”-reprezentáció
- Gráfkeresési stratégiák
- Szemantikus hálók / Keretrendszerek
- Játékok modellezése
- Bizonytalanság kezelése
- Grafikus modellek
- Tanuló rendszerek
- Szimulált kifűtés, Genetikus algoritmusok
- Neurális hálók
- Gépi tanulás
- Nemparametrikus módszerek



Mesterséges  
Intelligencia

2

Csató Lehel

Reprezentáció

Állapottér

Keresés

Hill-climbing

Backtracking

Gráfkeresés

Dekompozíció

Predikátumkalkulus

Keresőrendszerek

## Előadások honlapja

<http://www.cs.ubbcluj.ro/~csatol/mestint>

## Vizsga

Szóbeli (60%) + Gyakorlat (40%)  
(v) Előadás (60%)

## Laborgyakorlatok:

- 1 Clean vagy Prolog - dedukciós algoritmus **30%**
- 2 C / C++ / C# / ... - genetikus algoritmus **10% vagy**
- 3 Matlab - Neurális hálózatok vagy SVM **10%**



# „Tudás” reprezentáció

Mesterséges  
Intelligencia

2

Csató Lehel

Reprezentáció

Állapottér

Keresés

Hill-climbing

Backtracking

Gráfkeresés

Dekompozíció

Predikátumkalkulus

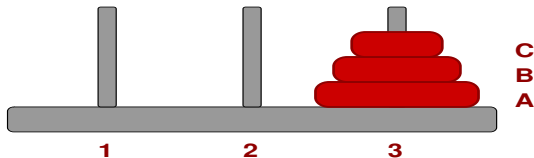
Keresőrendszerek

## Ismeretek számítógépes formában való tárolása



vagy:

## Hanoi tornyok feladata





# „Tudás” reprezentáció

Mesterséges  
Intelligencia

2

Csató Lehel

Reprezentáció

Állapottér

Keresés

Hill-climbing

Backtracking

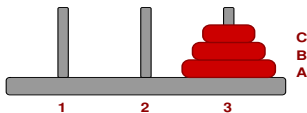
Gráfkeresés

Dekompozíció

Predikátumkalkulus

Keresőrendszerek

## Hanoi tornyok problémája

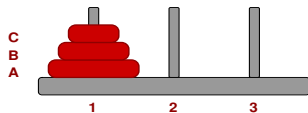


kezdeti

$(3, 3, 3)$



Állapotok



vég

$(1, 1, 1)$

**Szabály:** nem helyezhető egy korong egy nála kisebb korong tetejére.

**Szabály**  $\Rightarrow$  **Állapottér**





# „Feladat”

Mesterséges  
Intelligencia

2

Csató Lehel

Reprezentáció

Állapottér

Keresés

Hill-climbing

Backtracking

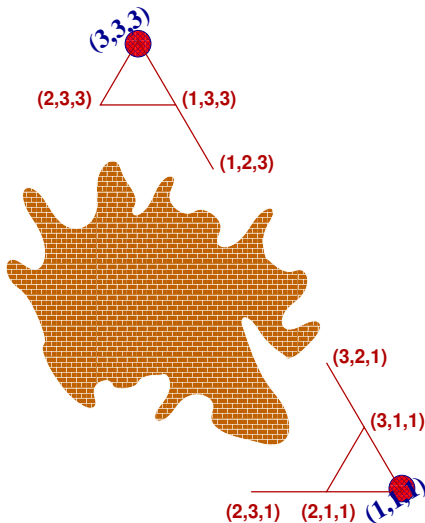
Gráfkeresés

Dekompozíció

Predikátumkalkulus

Keresőrendszerek

**Feladat:** az állapottérben a kezdeti állapotból –  $(3, 3, 3)$  – a végső állapotba –  $(1, 1, 1)$  – eljutni.





# Megoldáskeresés az állapot térben

Mesterséges  
Intelligencia

2

Csató Lehel

Reprezentáció

Állapot tér

Keresés

Hill-climbing

Backtracking

Gráfkeresés

Dekompozíció

Predikátumkalkulus

Keresőrendszerek

## Hegymászó módszer

**Heurisztika:** az állapotokhoz rendel egy **numerikus függvényt**, mely maximum a **kezdeti** állapotban és minimum a **vég** állapotban.

$$\text{Val}(\text{CS}) = \sum_k \text{Poz}_k$$

kezdeti = 9

vég = 3





# Megoldás a hegymászó módszerrel

Mesterséges  
Intelligencia

2

Csató Lehel

Reprezentáció

Állapottér

Keresés

Hill-climbing

Backtracking

Gráfkeresés

Dekompozíció

Predikátumkalkulus

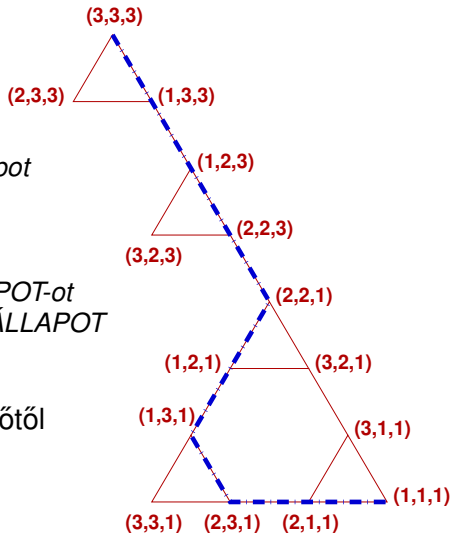
Keresőrendszerek

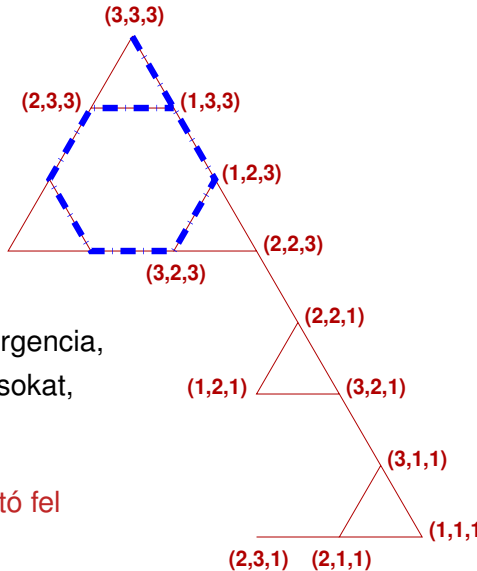
## Hegymászó módszer – Hill climbing

Hegymászó:

- **ÁLLAPOT**  $\leftarrow$  kezdőállapot
- **Amíg ÁLLAPOT nem CÉLÁLLAPOT**
  - **Válassz ÚJ\_ÁLLAPOT**-ot
  - **ÁLLAPOT**  $\leftarrow$  **ÚJ\_ÁLLAPOT**

A következő lépés:  
a **Val(CS)** legkisebb – szülőtől  
különböző – csúcs.





- Heurisztika – nem bizonyítható a konvergencia,
- Nem kerüli el a ciklusokat,
- függ a választott paraméterezéstől: a  $(2, 2, 2)$ -be nem írható fel algoritmus.



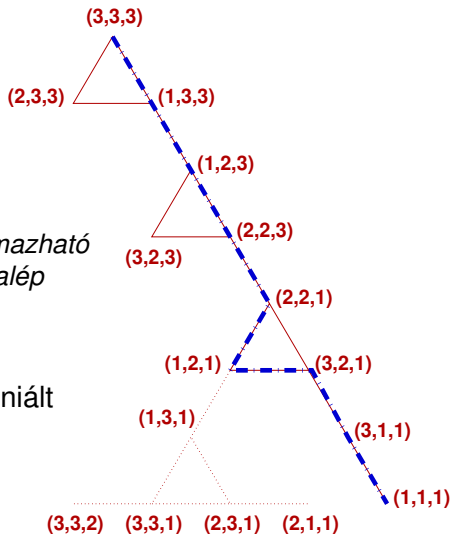
## Visszalépéses keresés

*Visszalép:*

- *ÚT* ← kezdőállapot
- *Amíg ÚT-vég nem CÉL*
  - *Válassz SZ*  
*az út végére alkalmazható műveletek v. visszalép*
  - *ÚT* ← *SZ(ÚT)*

A **választásnál** lehet a definiált célfüggvényt használni.

SZ = szabály

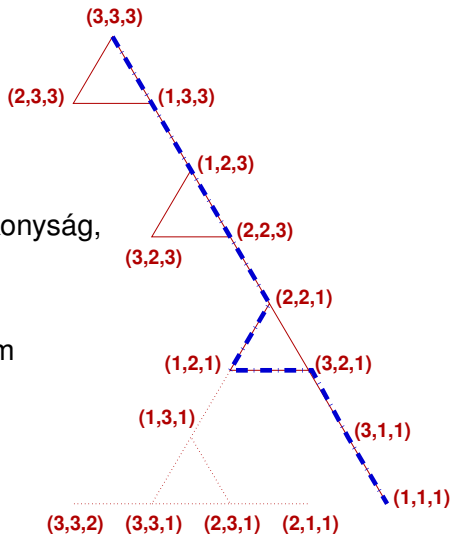




## Visszalépéses keresés

### Fontos:

- a heurisztika → hatékonyság,
- maximális úthossz meghatározása,
- jobb megoldás de nem optimális.





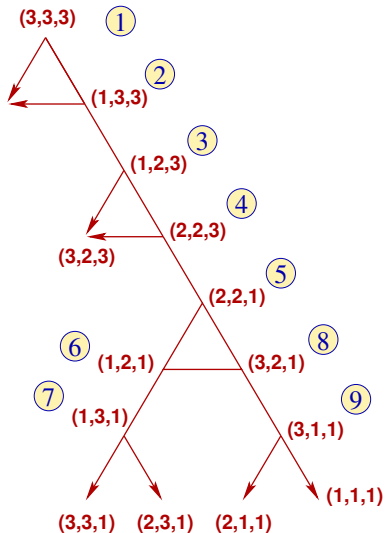
## Keresés gráfban

Algoritmus:

- $GRÁF \leftarrow$  kezdőállapot
- Amíg  $GRÁF \ni CÉL$ 
  - **Válassz** SZ  
GRÁF-ra alkalmazható  
műveletek
  - $GRÁF \leftarrow SZ(GRÁF)$

A **választásnál** lehet a definiált  
célfüggvényt használni.

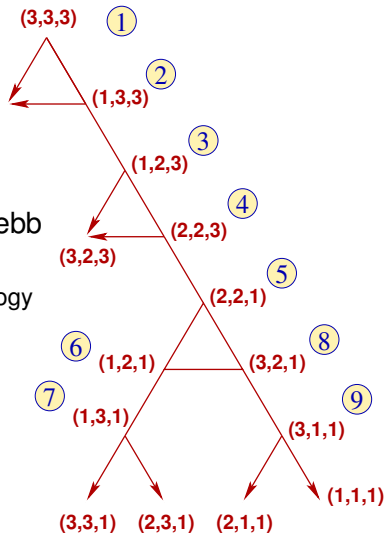
SZ = szabály



## Keresés gráfban

- Felépíti a gráfot,
- A legköltségesebb,
- **nem találja meg** a legrövidebb utat;

Elérhetjük a **cél**csúcsot úgy is, hogy olyan csúcs(ka)t hagyunk ki, melyek a legrövidebb út részei lennének.





# Feladat dekompozíció

Mesterséges  
Intelligencia

2

Csató Lehel

Reprezentáció

Állapotér

Keresés

Hill-climbing

Backtracking

Gráfkeresés

Dekompozíció

Predikátumkalkulus

Keresőrendszerek

## Rekurzív függvényhívás iskolapéldája

Jelölje:  $\langle n, i, j, k \rangle$  a műveletet, melyben

- a legfelső  $n$  korongot
- az  $i$ -edik rúdról
- a  $j$ -edik rúdra helyezzük
- a  $k$ -adik rúd segítségével

A feladat **dekomponálható**:

$$\langle n, i, j, k \rangle \longrightarrow \langle n-1, i, k, j \rangle \langle 1, i, j, k \rangle \langle n-1, k, j, i \rangle$$

ha  $n > 1$

$n = 1$  – nem kell tovább bontani a feladatot

Mesterséges  
Intelligencia

2

Csató Lehel

Reprezentáció

Állapotér

Keresés

Hill-climbing

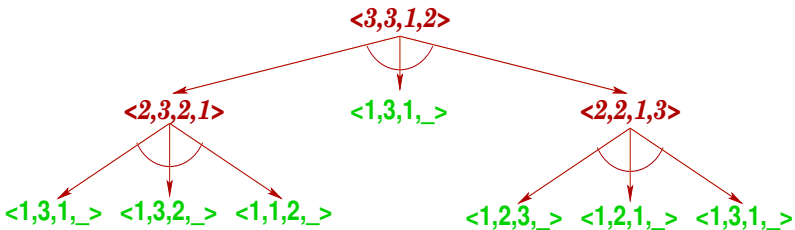
Backtracking

Gráfkeresés

Dekompozíció

Predikátumkalkulus

Keresőrendszerek



## ÉS/VAGY gráf:

- csúcs = probléma
- köteg - a részfeladatok, melyeket meg **kell** oldani a feladat megoldásához.
- Itt nincs **VAGY** csúcs.
- megoldás = részgráf, melyben minden részprobléma csupa megoldható problémára vezethető vissza.





## Szabályalapú következtetés

$t(i, j)$  – legfelső korong  $i \Rightarrow j$  mozgatása.

A feladat megoldása mozgatások sorozata  $\Rightarrow$  lista

**Lista:**  $a.b.c.nil$

Lista axiómái:

$$(1) \quad A(nil, r, r)$$

$$(2) \quad A(u, v, w) \rightarrow A(s.u, v, s.w)$$

(1) – Üres lista nem változtat az eredményen

(2) – Ha  $w$  az  $u$  és  $v$  összetétele, ez érvényes egy  $s$  előtaggal is.



Mesterséges  
Intelligencia

2

Csató Lehel

Reprezentáció

Állapottér

Keresés

Hill-climbing

Backtracking

Gráfkeresés

Dekompozíció

Predikátumkalkulus

Keresőrendszerek

## Hanoi tornyai axiómái:

$$(3) \quad H(1, i, j, k, t(i, j).nil)$$

$$(4) \quad H(n-1, i, k, j, y) \wedge H(1, i, j, k, t(i, j).nil) \wedge \\ H(n-1, k, j, i, z) \wedge A(y, t(i, j).z, x)$$

$$\rightarrow H(n, i, j, k, x)$$

(3) – 1 elemet átteszünk:  $t(i, j)$

(4) –  $n$  elem áttételéhez előbb  $n-1$  elemet mozgatunk  $y$  sorozattal, egy elemet  $t(i, j)$ -vel, majd  $n-1$ -et vissza.

**Kérdés:** (5)  $(\exists x) H(2, 1, 2, 3, x)$

(5) – azon mozgatások, melyek megvalósítják 2 korong mozgását.



Mesterséges  
Intelligencia

2

Csató Lehel

Reprezentáció

Állapottér

Keresés

Hill-climbing

Backtracking

Gráfkeresés

Dekompozíció

Predikátumkalkulus

Keresőrendszerek

*Algoritmus:*

- $GRÁF \leftarrow$  célállítás
- *Amíg GRÁF-ban nincs ellentmondásmentes levezetés*
- **Válassz SZ**  
*a GRÁF-hoz alkalmazható illesztések vagy visszalépés*
- $GRÁF \leftarrow SZ(GRÁF)$

Egy **ÉS/VAGY** gráfot járunk be és **keresünk** egy gráfot, mely tényekben végződik és nem ellentmondóak az illesztések.



## Két elemű Hanoi-toronyra a kérdés:

$$(\exists x) H(2, 1, 2, 3, x)$$

**Rezolução:** bizonyítani, hogy az axiómákból következik a célállítás.

$$\neg A \rightarrow B \Leftrightarrow \neg\neg A \vee B \Leftrightarrow A \wedge \neg B$$

$$\Leftrightarrow (1) \wedge (2) \wedge (3) \wedge (4) \wedge \neg(5) \quad \text{kielégíthetetlen}$$



Mesterséges  
Intelligencia

2

Csató Lehel

Reprezentáció

Állapottér

Keresés

Hill-climbing

Backtracking

Gráfkeresés

Dekompozíció

Predikátumkalkulus

Keresőrendszerek

**Bizonyítás:** ellentmondásos axiómarendszer:

$$(1) \quad A(\text{nil}, r, r)$$

$$(2) \quad \neg A(u, v, w) \vee A(s.u, v, s.w)$$

$$(3) \quad H(1, i, j, k, t(i, j).nil)$$

$$(4) \quad \neg H(n-1, i, k, j, y) \vee \neg H(1, i, j, k, t(i, j).nil) \vee \\ \neg H(n-1, k, j, i, z) \vee \neg A(y, t(i, j).z, x) \vee H(n, i, j, k, x)$$

$$(5) \quad \neg H(2, 1, 2, 3, x)$$

Cáfolati gráf: létezik **út**, melyre fennáll az (1) – (4) és  $\neg(5)$ .



## Keresőrendszerek (Production systems)

Különválasztják a

- feladat adatait ;
- az adatokon értelmezett műveleteket ;
- a vezérlést, mely a műveleteket **algoritmussá** szervezi.

Keresőrendszer: **(Adat,Szabály,Vezérlés)**



Mesterséges  
Intelligencia

2

Csató Lehel

Reprezentáció

Állapotér

Keresés

Hill-climbing

Backtracking

Gráfkeresés

Dekompozíció

Predikátumkalkulus

Keresőrendszerek

## Általános stratégia:

- **ADAT** ← Kezdeti adatbázis
- AMÍG **ADAT** nem terminális
- **Válassz SZ** az ADAT-ra alkalmazható szabályok közül,
- **ADAT** ← SZ(**ADAT**)

**Keresési stratégia:** az alkalmazható szabályok közül egyet kiválaszt.

Keresési stratégia:

- előrehaladó – *hegymászó, visszalépés, gráf*
- visszafelé haladó – *szabályalapú*
- kétirányú – bidirectional



Mesterséges  
Intelligencia

2

Csató Lehel

Reprezentáció

Állapotér

Keresés

Hill-climbing

Backtracking

Gráfkeresés

Dekompozíció

Predikátumkalkulus

Keresőrendszerek

## Általános stratégia:

- **ADAT** ← Kezdeti adatbázis
- **AMÍG ADAT** nem terminális
- **Válassz SZ** az ADAT-ra alkalmazható szabályok közül,
- **ADAT** ← **SZ(ADAT)**

**Keresési stratégia:** az alkalmazható szabályok közül egyet kiválaszt.

Keresési stratégia:

- előrehaladó – *hegymászó, visszalépés, gráf*
- visszafelé haladó – *szabályalapú*
- kétirányú – bidirectional





Mesterséges  
Intelligencia

2

Csató Lehel

Reprezentáció

Állapóttér

Keresés

Hill-climbing

Backtracking

Gráfkeresés

Dekompozíció

Predikátumkalkulus

Keresőrendszerek

## Általános stratégia:

- **ADAT** ← Kezdeti adatbázis
- **AMÍG ADAT** nem terminális
- **Válassz SZ** az ADAT-ra alkalmazható szabályok közül,
- **ADAT** ← **SZ(ADAT)**

**Keresési stratégia:** az alkalmazható szabályok közül egyet kiválaszt.

Keresési stratégia:

- előrehaladó – *hegymászó, visszalépés, gráf*
- visszafelé haladó – *szabályalapú*
- kétirányú – bidirectional



## Ismeretek osztályozása:

- deklaratív ismeret *állapot, részprobléma, axiómák*
- procedurális ismeret *művelet, dekompozíció*
- vezérlési ismeret *VAL függvény*

Közös vonás: **gráf**  $\implies$  **gráfrepresentáció.**

- ADAT** = a reprezentációs gráf egy részgráfja.  
= „**Ablak**”, melyet a szabályok módosítanak,  
egy csúcs, egy részgráf.



## Gráfkeresési stratégiák:

- Elsődleges stratégia
  - nem-módosítható stratégia (hegymászó, rezolúció)
  - módosítható stratégia (szabályok választása)
- másodlagos stratégia – figyelembe veszi az adott reprezentációt.

## Módosítható stratégiák:

- visszalépéses – backtracking
- gráfkereső – graphsearch



# A heurisztika szerepe

Mesterséges  
Intelligencia

2

Csató Lehel

Reprezentáció

Állapottér

Keresés

Hill-climbing

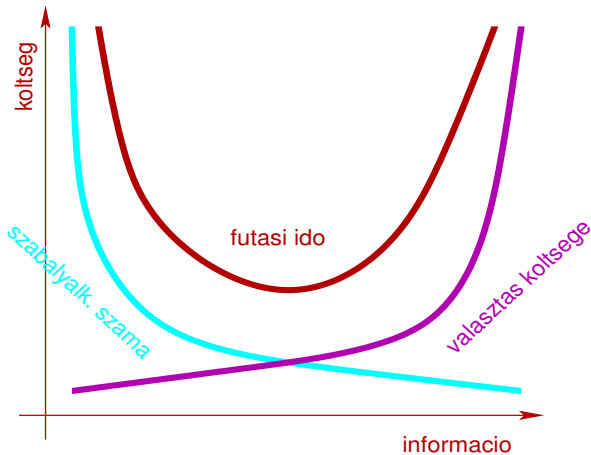
Backtracking

Gráfkeresés

Dekompozíció

Predikátumkalkulus

Keresőrendszerek



No free lunch.

Nehéz a futási időt optimalizálni.  
Közelítő megoldások „javasoltak”.