



Mesterséges intelligencia előadássorozat

Az előadás diái az AIMA könyvre épülve (<http://aima.cs.berkeley.edu>) készültek a University of California, Berkeley mesterséges intelligencia kurzusának anyagainak felhasználásával (<http://ai.berkeley.edu>).

These slides are based on the AIMA book (<http://aima.cs.berkeley.edu>) and were adapted from the AI course material of University of California, Berkeley (<http://ai.berkeley.edu>).



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Mesterséges Intelligencia és Rendszertervezés Tanszék



Mesterséges intelligencia

Logikai ágens, elsőrendű logika

Előadó: Dr. Hullám Gábor

Előadás anyaga: Dr. Dobrowiecki Tadeusz
Dr. Hullám Gábor



Transzformáció klóz formára:

1. Ekvivalencia elhagyása: $A \Leftrightarrow B = (A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow A)$

2. Implikáció elhagyása: $A \rightarrow B = \neg A \vee B$

3. Negálás atomi formulák szintjére (de Morgan): $\neg(A \vee B) = \neg A \wedge \neg B$

4. Diszjunkciók literálok szintjére (disztributivítás):

$$(A \wedge B) \vee C = (A \vee C) \wedge (B \vee C) \quad (\text{CNF, Davis, 1960})$$

5. Konjunkciók elhagyása.

Bontás diszjunktív klózokra (csak \neg és \vee marad)

Az eredeti (redundáns) állításforma és a (redundancia mentes) klózforma logikailag ekvivalensek!

Példa: $S \vee T \rightarrow Q$

$$\neg(S \vee T) \vee Q$$

$$(\neg S \wedge \neg T) \vee Q$$

$$(\neg S \vee Q) \wedge (\neg T \vee Q)$$

$$\neg S \vee Q$$

$$\neg T \vee Q$$

Rezolúció (1963) Q mondat bizonyítása TB alapján

Rezolúció „cáfolat-teljes” lépés, garantáltan megtalálja az ellentmondást.
Teljes kereséssel párosítva teljes bizonyítás.

1. TB átírása klóz formába. (vigyázz, nem Horn-klózok!).

$$\frac{B \vee A}{\neg B \vee G}$$

$A \vee G$

2. Q kérdés negálása. Negált Q kérdés átírása klóz formára.

$$\frac{B}{\neg B}$$

\emptyset

3. Kiterjesztett TB' = TB $\cup \neg Q$ tudásbázis létesítése.

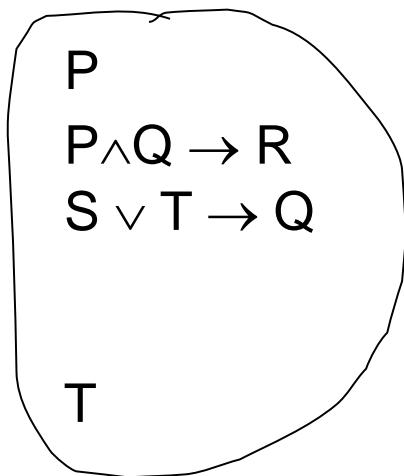
4. Rezolúciós lépés ciklikus elvégzése:

- kilépés üres rezolvensre, akkor TB' egy ellentmondás, tehát mivel TB igaz, Q igaz kell, hogy legyen.

TB=axiómák
eredeti állítások

TB'
klózok

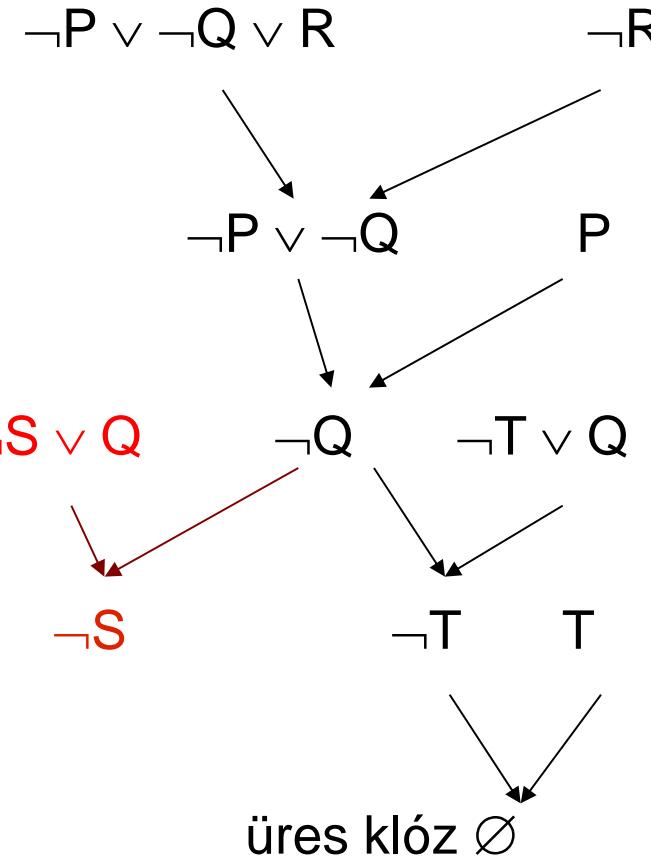
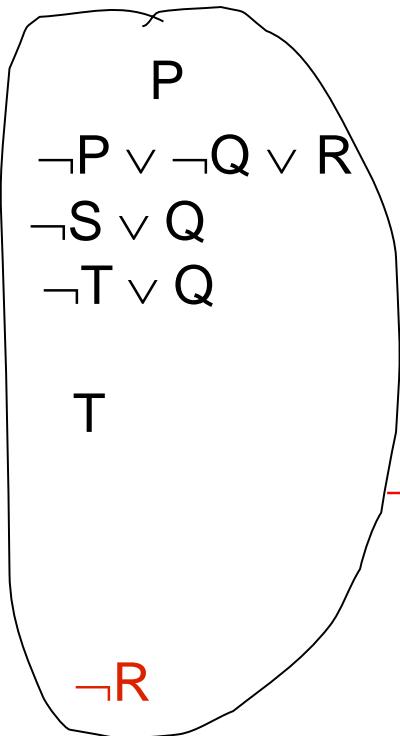
rezolúció menete



R igaz-e ?

TB |- R ?

TB' |- Ø ?



Egyszerű rezolúciós bizonyítás ítéletkalkulusban

Problémák az ítéletlogikai ágenssel

Általában:

- **túl sok ítéletszimbólumot kell kezelni.**
- nehézkes a **változások kezelése.**

Emiatt: **lassú a következtetési eljárás.** (igazságátbla mérete)

De sok fontos gyakorlati alkalmazás (kielégíthetőségi vizsgálattal):

- formális modell-ellenőrzés
- automatikus tesztminta-generálás
- MI tervkészítés
- automatikus tételebizonyítás
- szoftver-verifikálás

Pl. Ipari processzor-verifikáció: 14 ciklusra terjedő viselkedés
kb. 1 millió változó, 30 millió literál, 4 millió klóz, 1.5 millió döntés,
3h futási idő

Elsőrendű logika: milyen a világ valójában?

Objektumok: más objektumuktól megkülönböztetett identitású,
tulajdonságokkal rendelkező dolgok

Relációk: objektumok közötti kapcsolatok
- n-elemű
- egyelemű (unáris): tulajdonságok

Relációk közül néhány **függvény** – csak egy „érték” egy adott „bemenetre”.

Pl.: **objektumok**: emberek, elméletek, színek, sakkjátszmák, ...
relációk: testvére, nagyobb mint, belseje, része, színe, birtokol ...
tulajdonságok: piros, kerek, színlelt, páratlan, sokemeletes....
függvények: apja, legjobb barátja, eggyel több mint

Ezeket mind külön-külön tudjuk majd ábrázolni és velük következtetni!
(erősen strukturált tudás erősen strukturált ábrázolása jobban megy)

Elsőrendű logika

Szintaktika és szemantika

konstans szimbólumok: X, János, Bodri, K21 (a világ objektumai).

predikátum szimbólumok: kerek, bátyja,... (egy bizonyos reláció).

kerek(X) **bátyja(József, Anna)**

függvény szimbólumok: koszinusz, apja, bal-lába (a relációban szereplő objektum pontosan egy másik objektummal van kapcsolatban).

János = apja(Béla) apja(János, Béla) = Igaz

Építőelemek

term: János, Bodri, bal-lába(apja(János)), ..., x, f(x)
egy objektumra vonatkozó kifejezés. (konstans a legegyszerűbb term)

atom: bátyja(Géza, Árpád), házas(apja(Richárd), anyja(János)),

atom(i mondat): predikátum szimbólum és az argumentumait jelentő termek
tényeket fejez ki (van igazságértéke).

összetett mondat: bátyja(Misi, János) \rightarrow házas(apja(Misi), anyja(János))

logikai összekötő szimbólumok $\neg \wedge \vee \rightarrow \Leftrightarrow$
a még összetettebb mondatok építésére.

Építőelemek

kvantorok: tulajdonságok, amelyek objektumok halmazaira vonatkoznak, ahelyett hogy megneveznénk minden objektumot a nevével.

Az elsőrendű logika standard kvantorai:

univerzális kvantor (\forall) $\forall x. \text{macska}(x) \rightarrow \text{emlős}(x)$

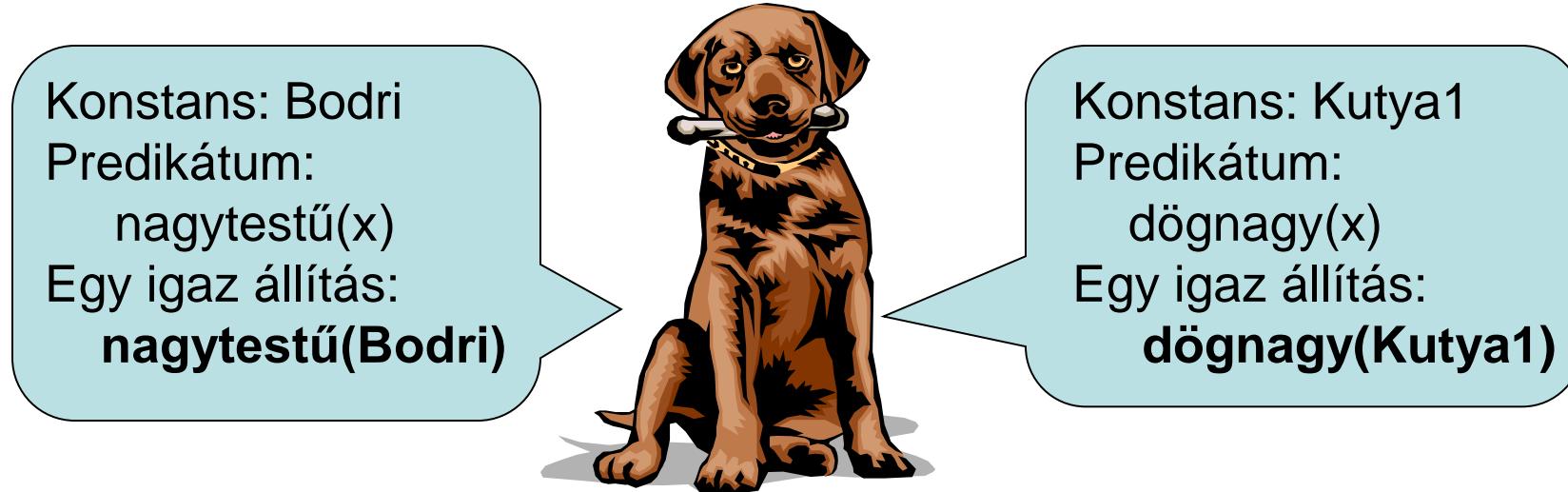
egzisztenciális kvantor (\exists) $\exists x. \text{macska}(x) \wedge \text{úszik}(x)$

Egyenlőség: (**term1 = term2**) igaz adott interpretáció mellett, a.cs.a, ha term1 és term2 ugyanarra az objektumra vonatkoznak.

Az \forall és az \exists kapcsolata:
 $\forall x \neg \text{szeret}(x, \text{Répa}) = \neg \exists x \text{szeret}(x, \text{Répa})$
 $\forall x \text{szeret}(x, \text{Fagylalt}) = \neg \exists x \neg \text{szeret}(x, \text{Fagylalt})$

Konstans-, predikátum- és függvényszimbólumok megválasztása teljes mértékben a felhasználón múlik. **Ez jó is, de nem is.** De vajon miért?

Fizikai világ: Objektum: Bodri kutya, amely
Tulajdonsága: nagy



Igaz logikában, hogy: nagytestű(Bodri) \Leftrightarrow dögnagy(Kutya1) **Nem!**

Hacsak nem mondjuk ki, hogy: $\forall x \text{ nagytestű}(x) \Leftrightarrow \text{dögnagy}(x)$.

Bodri = Kutya1.

azonos jelölés más interpretációt is takarhat

azonos interpretáció más jelöléshez is vezethet

(egy állítás kielégíthető, ha adott interpretációban létezik olyan modell, amiben igaz)
(egy állítás igaz, ha az előbb említett modell a világ jelenlegi állapotát adja meg)

Bizonyítások

Modell alapú következtetés?

Adott TB-hoz felsorolni a modelleket azt jelenti, hogy a modelleket meg kell fogalmazni:

a problématerület objektumainak minden $n = 1 \dots \infty$ száma mellett,

a szókészlet minden k attribútumú $p(x_1, \dots, x_k)$ predikátumra,

a szókészlet minden n elemű k-náris relációra,

a szókészlet minden C logikai konstansra,

a C logikai konstans minden problématerület objektum

hozzárendelésére n db. objektumból (interpretációk)...

T.i. nem tudjuk, mely kombináció lesz jó?

A legjobb (legegyszerűbb) esetben is legalább **megszámlálható**.

A függvények (relációk) ágyazása a termekben a lényegi nehézség.

**Redukció ítéletlogikai következtetésre
Következtetési lépések kiterjesztése**

Redukció ítéletlogikai következtetésre

Egy változó nélküli term - **alapterm (grounding)**

Változók nélküli predikátum kalkulus = ítélet kalkulus!

kutya(Bodri)

X₁

nagytestű(Bodri)

X₂

kutya(Bodri) \wedge nagytestű(Bodri) \rightarrow fél(Béla, Bodri)

X₁ \wedge X₂ \rightarrow X₃

Új TB: minden univerzális mondat minden lehetséges példányosítása.

Egy alapmondat vonzata az új TB-nak, ha vonzata volt az eredeti TB-nak.

Probléma: ha függvények is vannak, akkor ∞ -sok alapterm létezik,

pl. *apja(apja ... (apja(János)))*

Herbrand (1930): Ha egy mondat egy FOL TB vonzata, akkor vonzata a példányosított TB egy **véges** részhalmazának is.

Eljárás: minden $n = 0, 1, 2, \dots$ példányosított TB létesítése n -mélységű termekkel. A kérdéses mondat vonzata-e?

Probléma: jól működik, ha a vonzat létezik, ∞ -hurok, ha nincs.

Predikátum kalkulus tulajdonságai

Teljes: minden igaz állítás belátható (bebizonyítható)

(1930, Gödel, egzisztenciális bizonyítás, Herbrand, ítéletlogikai redukció)

A vonzat csak félig eldönthető: állítás hamis volta nem mutatható ki!

Turing (1936), Church (1936):

- a bizonyítási eljárásnak **igaz állítás** esetén van kilépési pontja,
- **hamis állítás** esetén nincs kilépési pontja, és munka közben, logikai alapon, nem dönthető el, hogy melyik esettel foglalkozunk.

Gyakorlati következtetés: gépen egy állításhalmaz konzisztenciája elvben nem mutatható ki a **véges erőforrások (idő)** miatt!

Predikátum kalkulus tulajdonságai

Gyakorlati következtetés: gépen egy állításhalmaz konzisztenciája elvben nem mutatható ki a véges erőforrások (**idő**) miatt!

Az elmélet és az axiómák: matematika és MI

axiómák = TB

kérdés

bizonyítás és utána?

matematika

minimális, redundancia-
mentes

érdekes
téTEL

hosszú

dicsőség

MI maximális, redundáns

ágens
feladata

minél
rövidebb

cselekvés
végrehajtása

Következtetési lépések kibővítése

Modus Ponens:

$$\frac{\begin{array}{c} A \\ \hline A \rightarrow B \end{array}}{B} \quad \frac{\begin{array}{c} p(A) \\ \hline \forall x, p(x) \rightarrow q(x) \end{array}}{q(A)}$$

x/A illesztés = **unifikálás (egyesítés) + behelyettesítés**

Unifikál(p, q) = θ , ha $p\theta = q\theta$

p	q	θ
ismer(János, x)	ismer(János, Ági)	{x / Ági}
ismer(János, x)	ismer(y, BME)	{x / BME, y / János}
ismer(János, x)	ismer(y, anya(y))	{y / János, x / anya(János)}
ismer(János, x)	ismer(x, BME)	kudarc

de további lehetőségek is vannak:

Univerzális kvantor eliminálása:

$$\frac{\forall x, p(x, A)}{p(B, A)}$$

Egzisztenciális kvantor eliminálása:

(un. skolemizálás)

$$\frac{\exists x \ q(x, A)}{q(B_S, A)}$$

feltéve, hogy B_S -nek másutt szerepe a TB-ban nincs!

B_S az un. **Skolem konstans**, bizonyos tulajdonságokkal igen, de a feladatban önálló (**interpretált**) léttel **NEM rendelkező objektum**.

Lehet $f(x)$ **Skolem függvény** is, amely minden x -hez egy külön Skolem konstanst rendel hozzá ...

$$\frac{\forall x \exists y \ q(x, y)}{\forall x \ q(x, f_S(x))}$$

$$\frac{\forall \text{ember} \exists \text{szív. van-szíve(ember, szív)}}{\forall \text{ember} \text{van-szíve(ember, } f_{\text{Szív}}(\text{ember }))}$$

$$\frac{\forall x p(x, A)}{p(B, A)}$$

ezzel szemben az univerzális kvantor eliminálásánál akármilyen létező objektumot megjelölő konstanst lehetett használni!

Gépi bizonyítás kérdése

Modus Ponens alapú bizonyítás **nem teljes**, de 1' rendű logika **teljes**, avagy igaz tételek bizonyítása létezik (de hogyan?).

Az első jól algoritmizált „hogyan” a **rezolúció** (Robinson, 1963), de a félíg eldönthetőség, mint probléma megmarad!

Rezolúció predikátum kalkulusban:

$$\frac{\begin{array}{c} q(x) \vee p(x, \text{Atti}) \\ \neg q(\text{Béla}) \vee r(x) \end{array}}{p(\text{Béla}, \text{Atti}) \vee r(\text{Béla})}$$

Gépi bizonyítás kérdése

Rezolúció predikátum kalkulusban:

x/Béla

$$\frac{q(x) \vee p(x, \text{Atti})}{\underline{\neg q(\text{Béla}) \vee r(x)}} \\ p(\text{Béla}, \text{Atti}) \vee r(\text{Béla})$$

Egyesítés (unifikálás)

ez viszont akkor lehetséges, ha:

$q(x)$ és $\neg q(y)$, ha x/y

változó-1

változó

konstans

változó-2

konstans

változó

nem megy azonban, ha:

konstans-1

változó

konstans-2

$f(\text{változó})$

Transzformáció klóz formára

1. Ekvivalenciát eltüntetni: $A \Leftrightarrow B = (A \rightarrow B) \wedge (B \rightarrow A)$

2. Implikációt eltüntetni: $A \rightarrow B = \neg A \vee B$

3. Negálást az atomi formulák szintjére áthelyezni.

$$\neg(A \vee B) = \neg A \wedge \neg B, \quad \neg \forall x p(x) = \exists x \neg p(x)$$

4. Egzisztenciális kvantorokat eltüntetni: Skolemizálás

5. Ha szükséges, a változókat átnevezni.

$$\forall x p(x) \vee \forall x q(x) \quad \rightarrow \quad \forall x p(x) \vee \forall y q(y)$$

6. Univerzális kvantorokat balra kihelyezni.

$$\dots \forall x \dots \forall y \dots = \forall x \forall y \dots x \dots y \dots$$

A cél:
az eredeti állításforma
és a klózforma
logikailag ekvivalensek!

7. Diszjunkciókat literál szintjére áthelyezni.

$(A \wedge B) \vee C = (A \vee C) \wedge (B \vee C)$ konjunktív normal forma (CNF, Davis, 1960)

8. Konjunkciókat eliminálni. Bontás diszjunktív klózokra

9. Ha szükséges, a változókat átnevezni.

10. Univerzális kvantorokat elhagyni. ami marad: $\neg, \vee, \text{ és most?}$

Példa: Valaki minden állatot szereti.

$$\forall x [\forall y \text{ állat}(y) \rightarrow \text{szeret}(x, y)] \rightarrow [\exists y \text{ szeret}(y, x)]$$

$$\forall x \neg [\forall y \neg \text{állat}(y) \vee \text{szeret}(x, y)] \vee [\exists y \text{ szeret}(y, x)]$$

$$\forall x [\exists y \neg (\neg \text{állat}(y) \vee \text{szeret}(x, y))] \vee [\exists y \text{ szeret}(y, x)]$$

$$\forall x [\exists y \neg \neg \text{állat}(y) \wedge \neg \text{szeret}(x, y)] \vee [\exists y \text{ szeret}(y, x)]$$

$$\forall x [\exists y \text{ állat}(y) \wedge \neg \text{szeret}(x, y)] \vee [\exists y \text{ szeret}(y, x)]$$

$$\forall x [\exists y \text{ állat}(y) \wedge \neg \text{szeret}(x, y)] \vee [\exists z \text{ szeret}(z, x)]$$

$$\forall x [\text{állat}(F(x)) \wedge \neg \text{szeret}(x, F(x))] \vee \text{szeret}(G(x), x)$$

$$[\text{állat}(F(x)) \wedge \neg \text{szeret}(x, F(x))] \vee \text{szeret}(G(x), x)$$

$$[\text{állat}(F(x)) \vee \text{szeret}(G(x), x)] \wedge [\neg \text{szeret}(x, F(x)) \vee \text{szeret}(G(x), x)]$$

Egy állításból két (lehet több is) klóz:

a. **állat(F(x))** \vee **szeret(G(x), x)**

b. \neg **szeret(x, F(x))** \vee **szeret(G(x), x)** F(x), G(x) Skolem függvények

Példa: Bárkit, aki megöl egy állatot, senki nem szeret

$$\forall x [\exists y \text{ állat}(y) \wedge \text{megöli}(x, y)] \rightarrow [\forall z \neg \text{szeret}(z, x)]$$

$$\forall x \neg [\exists y \text{ állat}(y) \wedge \text{megöli}(x, y)] \vee [\forall z \neg \text{szeret}(z, x)]$$

$$\forall x [\forall y \neg (\text{állat}(y) \wedge \text{megöli}(x, y)) \vee [\forall z \neg \text{szeret}(z, x)]]$$

$$\forall x, \forall y \neg \text{állat}(y) \vee \neg \text{megöli}(x, y) \vee [\forall z \neg \text{szeret}(z, x)]$$

$$\forall x, \forall y, \forall z \neg \text{állat}(y) \vee \neg \text{megöli}(x, y) \vee \neg \text{szeret}(z, x)$$

$$\neg \text{állat}(y) \vee \neg \text{megöli}(x, y) \vee \neg \text{szeret}(z, x)$$

Példa: Nobby szereti az összes állatot

$$\forall x [\text{állat}(x)] \rightarrow [\text{szeret}(Nobby, x)]$$

$$\neg \text{állat}(x) \vee \text{szeret}(Nobby, x)$$

Példa: Vagy Nobby vagy a kíváncsiság ölte meg Greebo-t.
Greebo egy macska

macska(Greebo)

megöli(Nobby, Greebo) \vee megöli(Kíváncsiság, Greebo)

Kiegészítés:

$\forall x \text{ macska}(x) \rightarrow \text{állat}(x)$

$\neg \text{macska}(x) \vee \text{állat}(x)$

A kíváncsiság ölte-e meg Greebo-t?

Kérdés: **megöli(Kíváncsiság, Greebo)**

\neg Kérdés: $\neg \text{megöli(Kíváncsiság, Greebo)}$

- 1.a) $\text{állat}(F(x)) \vee \text{szeret}(G(x), x)$
- 1.b) $\neg \text{szeret}(x, F(x)) \vee \text{szeret}(G(x), x)$
- 2.) $\neg \text{állat}(y) \vee \neg \text{megöli}(x, y) \vee \neg \text{szeret}(z, x)$
- 3.) $\neg \text{állat}(x) \vee \text{szeret}(\text{Nobby}, x)$
- 4.) $\text{macska}(\text{Greebo})$
- 5.) $\text{megöli}(\text{Nobby}, \text{Greebo}) \vee \text{megöli}(\text{Kíváncsiság}, \text{Greebo})$
- 6.) $\neg \text{macska}(x) \vee \text{állat}(x)$
- 7.) $\neg \text{megöli}(\text{Kíváncsiság}, \text{Greebo})$

Rezolúciós lépések

8: 7+5

$\text{megöli}(\text{Nobby}, \text{Greebo}) \vee \text{megöli}(\text{Kíváncsiság}, \text{Greebo})$

$\neg \text{megöli}(\text{Kíváncsiság}, \text{Greebo})$

8: $\text{megöli}(\text{Nobby}, \text{Greebo})$

1.a) $\text{állat}(F(x)) \vee \text{szeret}(G(x), x)$

1.b) $\neg \text{szeret}(x, F(x)) \vee \text{szeret}(G(x), x)$

2.) $\neg \text{állat}(y) \vee \neg \text{megöli}(x, y) \vee \neg \text{szeret}(z, x)$

3.) $\neg \text{állat}(x) \vee \text{szeret}(Nobby, x)$

4.) $\text{macska}(Greebo)$

5.) $\text{megöli}(Nobby, Greebo) \vee \text{megöli}(Kíváncsiság, Greebo)$

6.) $\neg \text{macska}(x) \vee \text{állat}(x)$

7.) $\neg \text{megöli}(Kíváncsiság, Greebo)$

8: $\text{megöli}(Nobby, Greebo)$

9: 8+2

$\text{megöli}(Nobby, Greebo)$

$\neg \text{állat}(y_1) \vee \neg \text{megöli}(x_1, y_1) \vee \neg \text{szeret}(z_1, x_1)$ x1 / Nobby

y1/ Greebo

$\neg \text{állat}(\text{Greebo}) \vee \neg \text{szeret}(z_1, \text{Nobby})$

1.a) $\text{állat}(F(x)) \vee \text{szeret}(G(x), x)$

1.b) $\neg \text{szeret}(x, F(x)) \vee \text{szeret}(G(x), x)$

2.) $\neg \text{állat}(y) \vee \neg \text{megöli}(x, y) \vee \neg \text{szeret}(z, x)$

3.) $\neg \text{állat}(x) \vee \text{szeret}(\text{Nobby}, x)$

4.) $\text{macska}(\text{Greebo})$

5.) $\text{megöli}(\text{Nobby}, \text{Greebo}) \vee \text{megöli}(\text{Kíváncsiság}, \text{Greebo})$

6.) $\neg \text{macska}(x) \vee \text{állat}(x)$

7.) $\neg \text{megöli}(\text{Kíváncsiság}, \text{Greebo})$

8: $\text{megöli}(\text{Nobby}, \text{Greebo})$

9: $\neg \text{állat}(\text{Greebo}) \vee \neg \text{szeret}(z, \text{Nobby})$

10: 9+6

$\neg \text{állat}(\text{Greebo}) \vee \neg \text{szeret}(z, \text{Nobby})$

$\neg \text{macska}(x_2) \vee \text{állat}(x_2)$

x2 / Greebo

$\neg \text{macska}(\text{Greebo}) \vee \neg \text{szeret}(z, \text{Nobby})$

1.a) $\text{állat}(F(x)) \vee \text{szeret}(G(x), x)$

1.b) $\neg \text{szeret}(x, F(x)) \vee \text{szeret}(G(x), x)$

2.) $\neg \text{állat}(y) \vee \neg \text{megöli}(x, y) \vee \neg \text{szeret}(z, x)$

3.) $\neg \text{állat}(x) \vee \text{szeret}(\text{Nobby}, x)$

4.) **macska(Greebo)**

5.) $\text{megöli}(\text{Nobby}, \text{Greebo}) \vee \text{megöli}(\text{Kíváncsiság}, \text{Greebo})$

6.) $\neg \text{macska}(x) \vee \text{állat}(x)$

7.) $\neg \text{megöli}(\text{Kíváncsiság}, \text{Greebo})$

8: $\text{megöli}(\text{Nobby}, \text{Greebo})$

9: $\neg \text{állat}(\text{Greebo}) \vee \neg \text{szeret}(z, \text{Nobby})$

10: **$\neg \text{macska}(\text{Greebo}) \vee \neg \text{szeret}(z, \text{Nobby})$**

11: 10+4

$\neg \text{macska}(\text{Greebo}) \vee \neg \text{szeret}(z_1, \text{Nobby})$

$\text{macska}(\text{Greebo})$

$\neg \text{szeret}(z_1, \text{Nobby})$

1.a) $\text{állat}(F(x)) \vee \text{szeret}(G(x), x)$

1.b) $\neg \text{szeret}(x, F(x)) \vee \text{szeret}(G(x), x)$

2.) $\neg \text{állat}(y) \vee \neg \text{megöli}(x, y) \vee \neg \text{szeret}(z, x)$

3.) $\neg \text{állat}(x_3) \vee \text{szeret}(\text{Nobby}, x_3)$

11: $\neg \text{szeret}(z_1, \text{Nobby})$

12: 1b+3

$\neg \text{állat}(x_3) \vee \text{szeret}(\text{Nobby}, x_3)$

$\neg \text{szeret}(x_4, F(x_4)) \vee \text{szeret}(G(x_4), x_4)$ x_4 / Nobby

$\neg \text{állat}(F(\text{Nobby})) \vee \text{szeret}(G(\text{Nobby}), \text{Nobby})$

1.a) $\text{állat}(F(x)) \vee \text{szeret}(G(x), x)$

1.b) $\neg \text{szeret}(x, F(x)) \vee \text{szeret}(G(x), x)$

2.) $\neg \text{állat}(y) \vee \neg \text{megöli}(x, y) \vee \neg \text{szeret}(z, x)$

3.) $\neg \text{állat}(x_3) \vee \text{szeret}(\text{Nobby}, x_3)$

11: $\neg \text{szeret}(z_1, \text{Nobby})$

12: $\neg \text{állat}(F(\text{Nobby})) \vee \text{szeret}(G(\text{Nobby}), \text{Nobby})$

13: 1a+12

$\neg \text{állat}(F(\text{Nobby})) \vee \text{szeret}(G(\text{Nobby}), \text{Nobby})$

$\text{állat}(F(x_5)) \vee \text{szeret}(G(x_5), x_5) \quad x_5 / \text{Nobby}$

$\text{szeret}(G(\text{Nobby}), \text{Nobby})$

- 1.a) $\text{állat}(F(x)) \vee \text{szeret}(G(x), x)$
 1.b) $\neg \text{szeret}(x, F(x)) \vee \text{szeret}(G(x), x)$
 2.) $\neg \text{állat}(y) \vee \neg \text{megöli}(x, y) \vee \neg \text{szeret}(z, x)$
 3.) $\neg \text{állat}(x_3) \vee \text{szeret}(\text{Nobby}, x_3)$

11: $\neg \text{szeret}(z_1, \text{Nobby})$

12: $\neg \text{állat}(F(\text{Nobby})) \vee \text{szeret}(G(\text{Nobby}), \text{Nobby})$

13: $\text{szeret}(G(\text{Nobby}), \text{Nobby})$

13: 1a+12

$\text{szeret}(G(\text{Nobby}), \text{Nobby})$

$\neg \text{szeret}(z_1, \text{Nobby})$

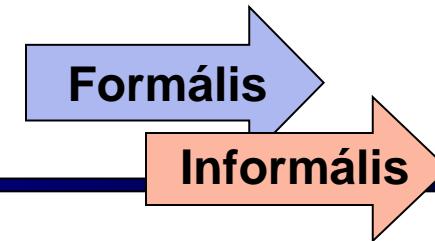
$z_1 / G(\text{Nobby})$

ϕ

Üres rezolvensre jutottunk -> negált kérdés hamis

tehát az eredeti kérdés igaz: **megöli(Kíváncsiság, Greebo)**

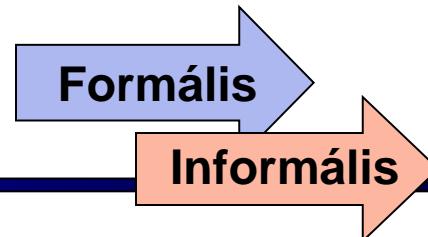
Rezolúciós bizonyítás procedúrája



Adott állítások halmaza F, a bizonyítandó állítás Q

1. Az F halmaz összes állítását konvertáljuk klöz formába F'.
2. Negáljuk a Q-t és konvertáljuk klöz formába. Adjuk hozzá az F'-hez.
3. Ismételjük az alábbi ciklust, amíg:
 - (a) **ellentmondásra** rá nem futunk,
 - (b) **az előrehaladást már nem tapasztaljuk**, vagy
 - (c) **az erőforrások előre meghatározott mennyiségeit ki nem használjuk**:
4. **Válasszunk meg** két klózt és alkalmazzunk **rezolúciós** lépést.
5. **Ha a rezolvens üres**, megvan az ellentmondás. Ha nem, adjuk hozza a többi klózhöz és folytatjuk (3.)

Rezolúciós bizonyítás procedúrája



...

4. **Válasszunk meg** két klózt és alkalmazzunk **rezolúciós** lépést.

...

Rezolúciós stratégiák (klózok kiválasztási heurisztikái)

1. Egység rezolúció. **Horn-klóz alakú TB-ban az eljárás teljes**, különben nem!
2. '**Set of Support**': (egy klóz 'S-of-S'-ból és egy 'külső' klóz), rezolvens vissza 'S-of-S'-ba. **Teljes, ha 'S-of-S'-n kívüli klózok teljesíthetők**, gyakorlatban: 'S-of-S' = a negált kérdés (a többit úgyis elhísszük)
3. **Input rezolúció**: az egyik klóz mindenkor az előbbi rezolvens, az első lépésnél viszont a kérdés. **Horn-klóz alakú tudásbázisban az eljárás teljes**, különben nem!
4. **Lineáris rezolúció**: P és Q rezolválható, ha P benne van az eredeti tudásbázisban, vagy ha P a Q űse a bizonyítási fában. **Lineáris rezolúció egy teljes eljárás**.

Logikai programozás

- Prolog nem teljes

Tételbizonyítók

Otter (Organized Techniques for Theorem proving and Effective Research)

rezolúciós bizonyítás támogató halmaz (set of support) stratégiával - **Prover9**

Prolog kiterjesztése – **PTTP Prolog Technology Theorem Prover**

Az elmélet és az axiómák: matematika és MI

<u>axiómák = TB</u>	<u>kérdés</u>	<u>bizonyítás eredmény</u>	<u>Hol az infó?</u>
Matematika minimális redundanciamentes	hosszú „siker”	üres rezolvens tényében
MI maximális redundans	...	minél rövidebb cselekvés végrehajtása	üres rezolvens tényében ÉS a behelyettesítésekben

Ontológia

Cél: A tudás megosztása

- Tárgyterület (domain) részletes leírását valósítja meg

Összetevők:

- Fogalmak
 - osztály
- Tulajdonságok és relációk a fogalmak között
 - taxonómia (fogalmak közötti hierarchia: isA, partOf)
 - reláció, attribútum, szerep (Role)

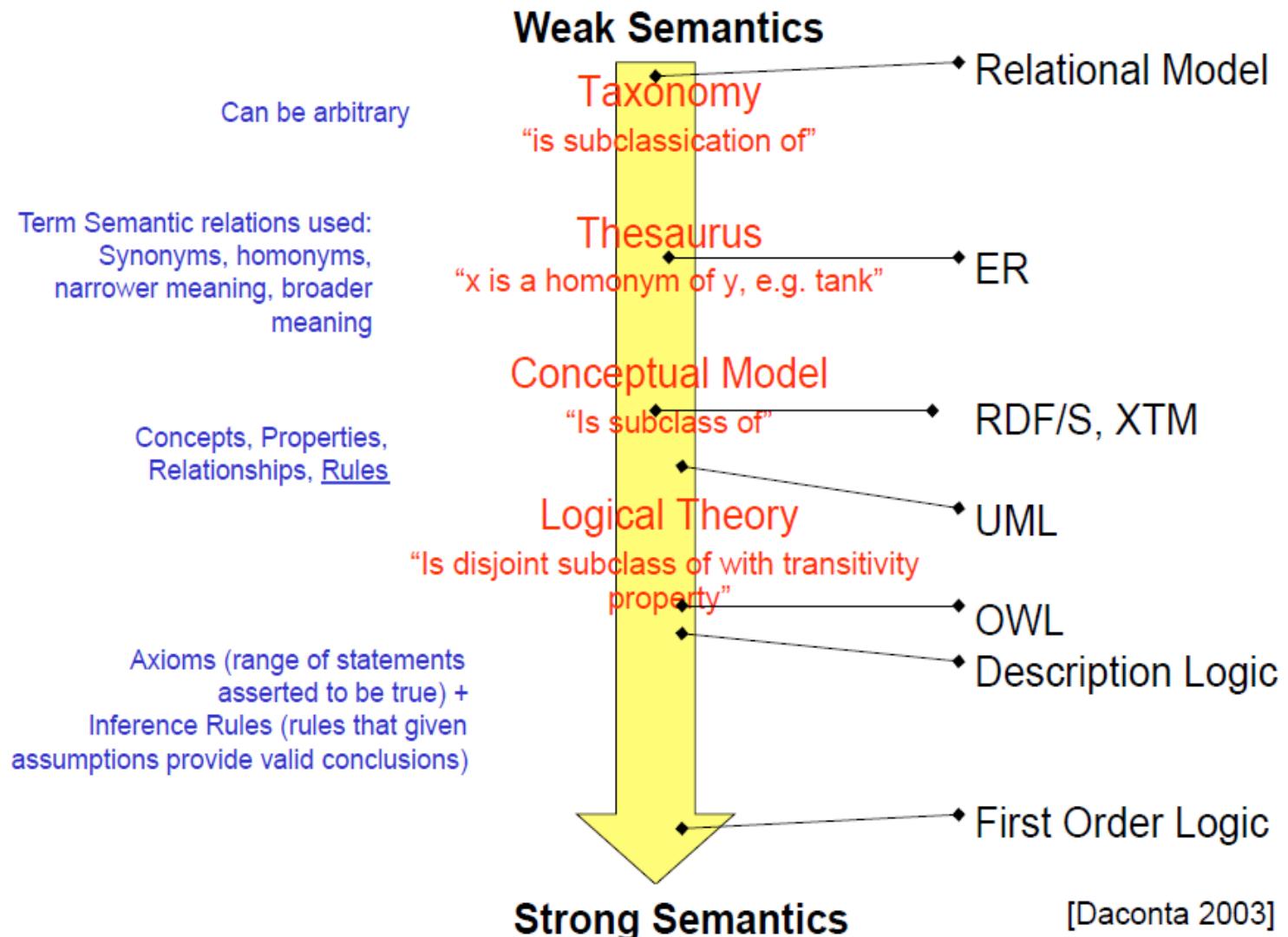
Tárgyterület (domain) részletes leírása

-Megkötések (kényszerek) tulajdonságokra,
fogalmakra

- Típus: integer
- Számosság (cardinality): ≥ 1
- Értéktartomány (range): $0 < Y \leq 50$
- X nagyobb, mint Y
 - X osztály egyedei nagyobbak, mint Y-éi
- X és Y különböző
 - X és Y osztály diszjunkt, nincs közös egyed

-Konkrét értékek megadása

Ontológiák típusai



Ontológia vs Relációs séma

- **Ontológia:**
 - Formálisan definiált kapcsolatok az entitások között
 - Ember és gép által is értelmezhető
- **Relációs séma:**
 - Relációk implicit kapcsolatot jelentenek entitások között
 - Interpretáció szükséges
 - Adatbázis szemantikájának ismerete nélkül nem használható

Ontológia vs Tudásbázis

- Ontológia:
 - fogalmak
 - tulajdonságok
 - megkötések
 - értékek
- Tudásbázis:
 - Ontológia
 - példányok

Gene Ontology (GO)

