



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 (disztributivitás):
 $(A \wedge B) \vee C = (A \vee C) \wedge (B \vee C)$ (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.

$$\begin{array}{c} B \vee A \\ \neg B \vee G \\ \hline A \vee G \end{array}$$

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

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

$$\begin{array}{c} B \\ \neg B \\ \hline \emptyset \end{array}$$

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

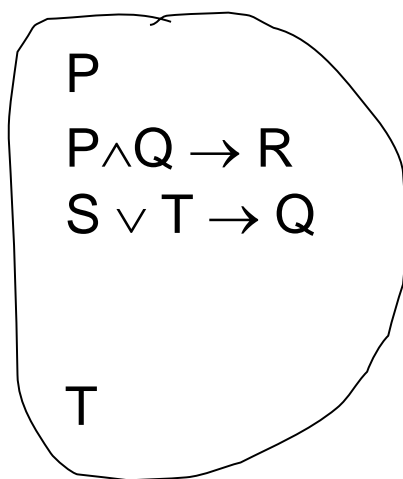
4. Rezolúciós lépés ciklikus elvégzése:

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

TB=axiómák
eredeti állítások

TB'
klózek

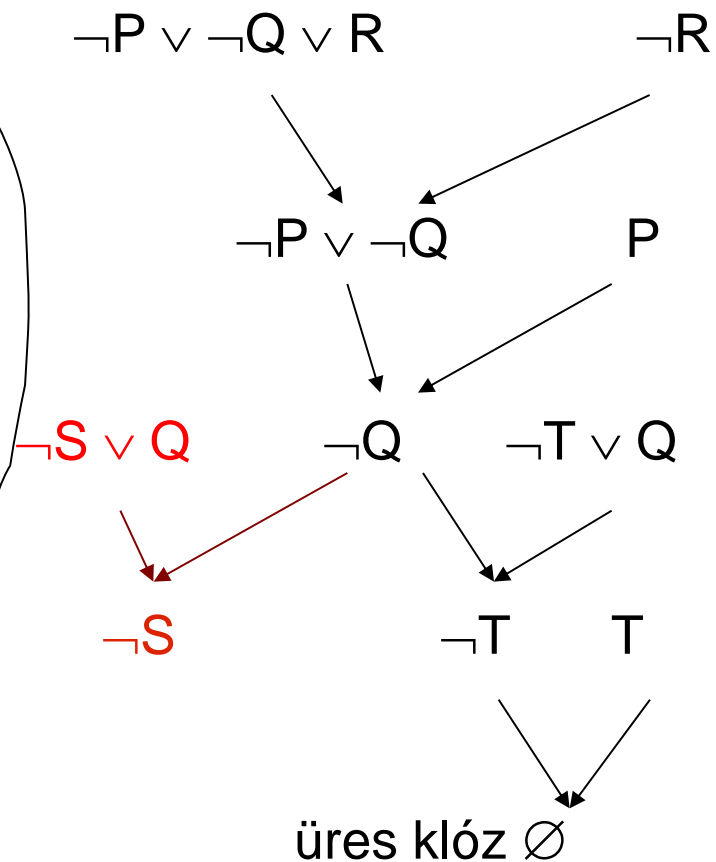
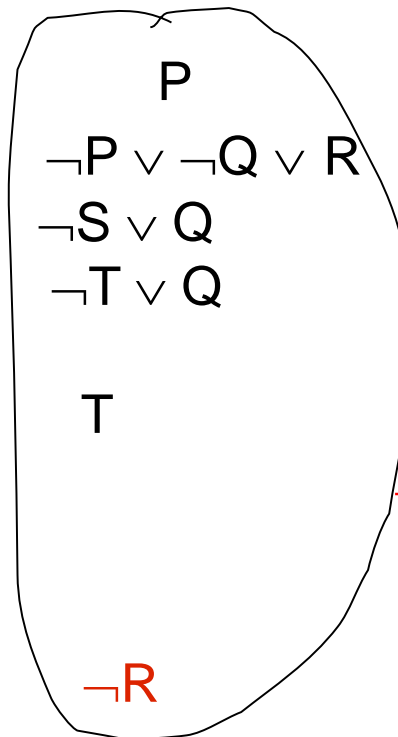
rezolúció menete



R igaz-e ?

TB \vdash R ?

TB' \vdash \emptyset ?



Egyszerű rezolúciós bizonyítás ítéletkalkulusban

Problémák az ítéletlogikai ágenssel

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

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

De sok fontos gyakorlati alkalmazás (kielégíthetőségi vizsgálattal):

- formális modell-ellenőrzés
- automatikus tesztminta-generálás
- MI tervkészítés
- automatikus tételbizonyítás
- 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 objektumoktól 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: $\forall x \neg \text{szeret}(x, \text{Répa}) = \neg \exists x \text{ szeret}(x, \text{Répa})$
 $\forall x \text{ szeret}(x, \text{Fagylalt}) = \neg \exists x \neg \text{szeret}(x, \text{Fagylalt})$

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 -nárís 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

<u>axiómák = TB</u>	<u>kérdés</u>	<u>bizonyítás és utána?</u>	
matematika			
minimális, redundancia-mentes	érdekes tétel	hosszú	dicsőség
MI maximális, redundáns	ágens feladata	minél rövidebb	cselekvés végrehajtása

Következtetési lépések kibővítése

Modus Ponens:

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

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

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

p	q	θ
ismer(János, x)	ismer(János, Ági)	$\{x / \text{Ági}\}$
ismer(János, x)	ismer(y, BME)	$\{x / \text{BME}, y / \text{János}\}$
ismer(János, x)	ismer(y, anya(y))	$\{y / \text{János}, x / \text{anya(János)}\}$
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 ...

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

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

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

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 félig eldönthetőség, mint probléma megmarad!

Rezolúció predikátum kalkulusban:

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

Gépi bizonyítás kérdése

Rezolúció predikátum kalkulusban:

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

x/Béla

Egyesítés (unifikálás)

ez viszont akkor lehetséges, ha:

$q(x)$ és $\neg q(y)$, ha x/y	
<u>x</u>	<u>y</u>
változó-1	változó-2
változó	konstans
konstans	változó

nem megy azonban, ha:

konstans-1	konstans-2
változó	f(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.

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

7. **Diszjunkciókat literál szintjére áthelyezni.**

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

8. Konjunkciókat eliminálni. Bontás diszjunktív klózokra

9. Ha szükséges, a változókat átnevezni.

10. Univerzális kvantorokat elhagyni. **ami marad: \neg , \vee , és most?**

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

Példa: Valaki mindig szereti azt, aki minden állatot szeret.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Egy állításból két (lehet több is) klóz:

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

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

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

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

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

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: 8+2

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

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

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

y_1 / 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.) $\neg \text{megöli}(\text{Kíváncsiság}, \text{Greebo})$

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

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

10: 9+6

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

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

x_2 / 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.) $\text{macska}(\text{Greebo})$

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

11: 10+4

$\neg \text{macska}(\text{Greebo}) \vee \neg \text{szeret}(z1, \text{Nobby})$

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

$\neg \text{szeret}(z1, \text{Nobby})$

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.) $\neg \text{állat}(x3) \vee \text{szeret}(\text{Nobby}, x3)$

11: $\neg \text{szeret}(z1, \text{Nobby})$

12: 1b+3

$\neg \text{állat}(x3) \vee \text{szeret}(\text{Nobby}, x3)$

$\neg \text{szeret}(x4, F(x4)) \vee \text{szeret}(G(x4), x4)$

$x4 / \text{Nobby}$

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

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.) $\neg \text{állat}(x3) \vee \text{szeret}(\text{Nobby}, x3)$

11: $\neg \text{szeret}(z1, \text{Nobby})$

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

13: 1a+12

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

$\text{állat}(F(x5)) \vee \text{szeret}(G(x5), x5) \quad x5 / \text{Nobby}$

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

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.) $\neg \text{állat}(x3) \vee \text{szeret}(\text{Nobby}, x3)$

11: $\neg \text{szeret}(z1, \text{Nobby})$

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

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

$\neg \text{szeret}(z1, \text{Nobby})$

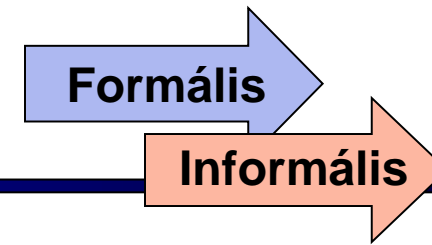
$z1 / G(\text{Nobby})$

ϕ

Üres rezolvensre jutottunk -> negált kérdés hamis

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

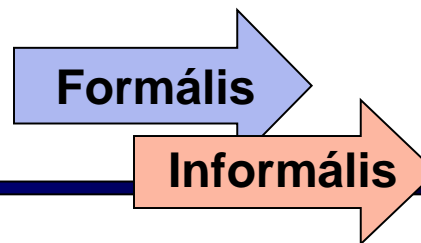
Rezolúciós bizonyítás procedúrája



Adott állítások halmaza F , a bizonyítandó állítás Q

1. Az F halmaz összes állítását konvertáljuk klóz formába F' .
2. Negáljuk a Q -t és konvertáljuk klóz 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 mennyiségét ki nem használjuk:**
4. **Válasszunk meg** két klózt és **alkalmazzunk rezolúciós lépést**.
5. **Ha a rezolvens üres**, megvan az ellentmondás. Ha nem, adjuk hozzá a többi klózhoz és folytatjuk (3.)

Rezolúciós bizonyítás procedúrája



...

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

...

Rezolúciós stratégiák (klózek kiválasztási heurisztikái)

1. Egység rezolúció. **Horn-klóz alakú TB-ban az eljárás teljes**, különben nem!
2. **'Set of Support'**: (egy klóz 'S-of-S'-ből és egy 'külső' klóz), rezolvens vissza 'S-of-S'-ba. **Teljes, ha 'S-of-S'-n kívüli klózek teljesíthetők**, gyakorlatban: 'S-of-S' = a negált kérdés (a többit úgyis elhisszük)
3. **Input rezolúció**: az egyik klóz mindig 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 őse a bizonyítási fában. **Lineáris rezolúció egy teljes eljárás**.

- 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</u>	<u>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)

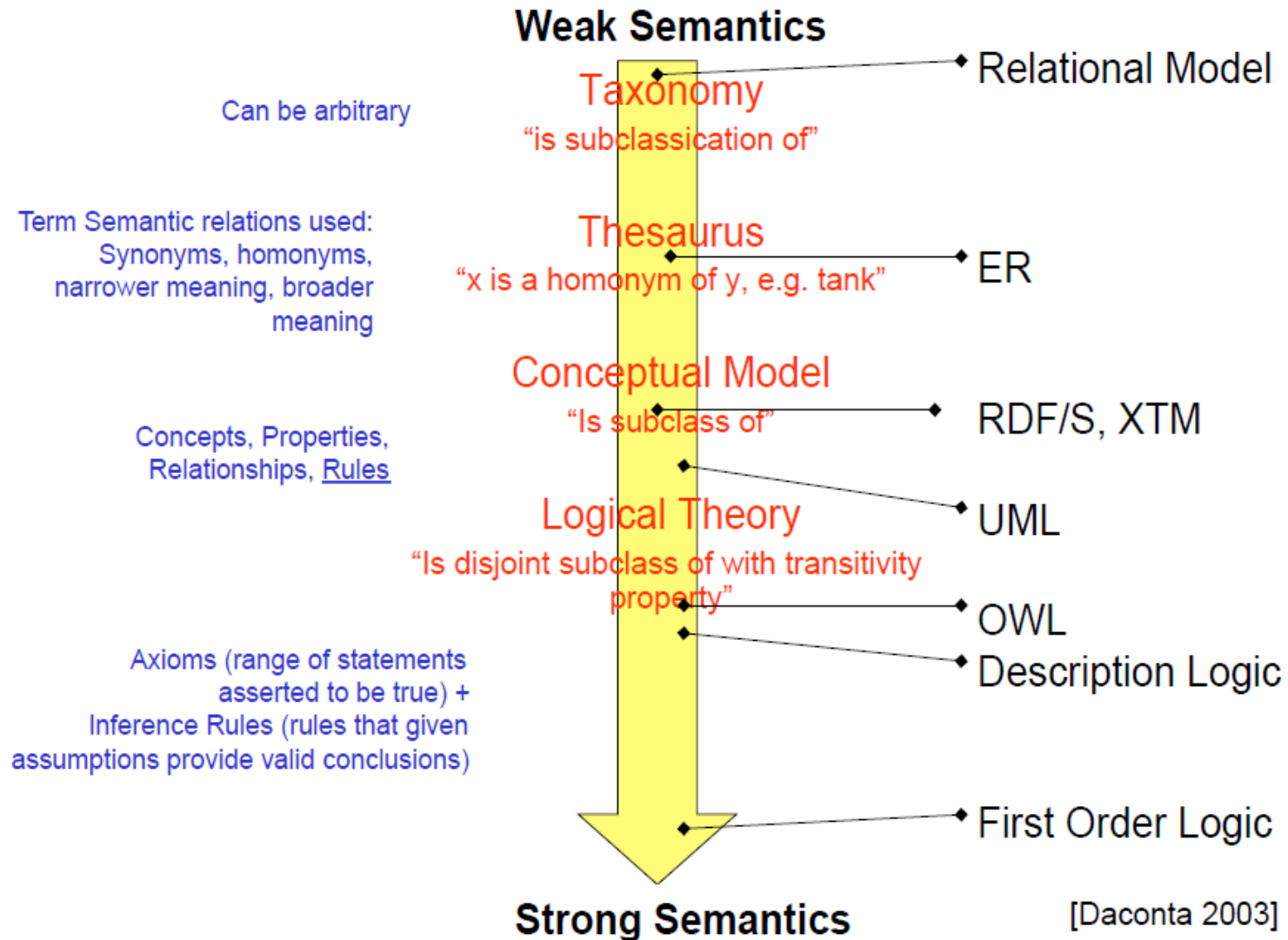
Tárgyterület (domain) részletes leírása

-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

