

729G78 Artificiell intelligens

Kunskapsrepresentation – Predikatlogik 2

Robin Keskisärkkä

HCS/IDA

Kunskapsbaser

Skapa en kunskapsbas

Iterativ process

1. Identifiera uppgiften
2. Inhämta relevant domänkunskap
3. Definiera ett vokabulär
4. Skriv axiom som beskriver domänen
5. Gör en problemkodning
6. Testa och använd
7. Felsökning

Wumpus-världen

Percept: [Stank, Bris, Glitter, Bump, Skrik]

Handlingar: [Forward, Right, Left, Grab, Shoot, Climb]

Koordinater: [x, y]

Tid: T_i

Predikat: Breezy(t), Pit(l), Adjacent(l_1, l_2), Wall(l)...

Stank		Bris	HÅL
	Stank Bris Glitter 	HÅL	Bris
Stank		Bris	
	Bris	HÅL	Bris

Representation av världen

- Närliggande rutor

$$\forall x,y,z,w \text{ Adjacent}([x, y], [z, w]) \Leftrightarrow [z, w] \in \{[x+1,y], [x-1,y], [x, y+1], [x, y-1]\}$$

koordinat



intelligande rutor



- Lagra ny information, ex

$$\forall s,t \text{ At}(\text{Agent}, l, t) \wedge \text{Breeze}(t) \Rightarrow \text{Breezy}(l)$$

där l är en koordinat och t är en tidpunkt

- Diagnosregler (diagnosticerar från effekter till fakta)

$$\forall s \text{ Breezy}(s) \Rightarrow \exists r \text{ Adjacent}(r, s) \wedge \text{Pit}(r)$$

där r och s är koordinater

- Kausala regler (modellbaserade resonemang)

$$\forall r \text{ Pit}(r) \Rightarrow (\forall s \text{ Adjacent}(r, s) \Rightarrow \text{Breezy}(s))$$

Hantera förändring

- Vill uttrycka hur en handling påverkar världen i FOPL
- Tidsvariabel för sådant som ändrar sig
 - Ex $At(\text{Agent}, [1, 1], T_0)$, $At(\text{Agent}, [1, 2], T_1)$
 - Saker som aldrig ändrar sig behöver ingen tidsvariabel, ex $Wall([0, 1])$
 - Uppdatera världen
 - Om $Action(\text{Forward}, T_1)$ resulterar i $At(\text{Agent}, [2, 3], T_2)$
så resulterar
 $Action(\text{Grab}, T_2)$ i $Holding(\text{Gold}, T_3)$

Hantera förändring

- Världen består av en sekvens av **situationer**
- **Handlingar** resulterar i nya situationer
- **Fluents** är predikat som beskriver relationer eller egenskaper som kan påverkas av handlingar

Exempel

- Beskrivning av wumpusvärldens initialtillstånd

At(Agent, [1, 1], T_0)

Direction(Agent, North, T_0)

At(Wumpus, [1, 3])

At(Pit1, [3, 1])

At(Pit2, [3, 3])

At(Pit3, [4, 4])

At(Gold, [2, 3])

Stank		Bris	HÅL
	Stank Bris Glitter 	HÅL	Bris
Stank		Bris	
	Bris	HÅL	Bris

Effektaxiom

- Handlingar

$\forall x,y,t \text{ At}(\text{Agent}, [x, y], t) \wedge \text{Direction}(\text{Agent}, \text{North}, t) \wedge \text{Action}(\text{Forward}, t) \Rightarrow$
 $\text{At}(\text{Agent}, [x, y+1], t+1)$

$\forall a,t \text{ Direction}(\text{Agent}, \text{East}, t) \wedge \text{Action}(\text{Left}, t) \Rightarrow$
 $\text{Direction}(\text{Agent}, \text{North}, t+1)$

$\forall x,y,t \text{ At}(\text{Agent}, [x, y], t) \wedge \text{At}(\text{Gold}, [x, y], t) \wedge \text{Action}(\text{Grab}, t) \Rightarrow$
 $\text{Holding}(\text{Agent}, \text{Gold}, t+1)$

- Kallas effektaxiom och beskriver det som förändras i världen

Frameaxiom

- Anta $At(\text{Agent}, [2, 3], T_1)$, $Holding(\text{Gold}, T_1)$
- Anta att agenten går framåt
 $At(\text{Agent}, [2, 3], T_1) \wedge Direction(\text{Agent}, \text{North}, T_1) \wedge Action(\text{Forward}, T_1) \Rightarrow At(\text{Agent}, [2, 4], T_2)$
- Men agenten måste också ha guldmedaljen med sig även vid T_2 , dvs.
 $\forall x, t \text{ Holding}(x, t) \wedge \neg Action(\text{Release}, t) \Rightarrow Holding(x, t+1)$
och
 $\forall x, t \neg Holding(x, t) \wedge \neg Action(\text{Grab}, t) \Rightarrow \neg Holding(x, t+1)$
- Kallas frameaxiom och beskriver det som **inte** förändras vid en handling

Frameproblemet

- Men hur representerar vi vad som påverkas utan att inkludera allt som inte förändras?
 - Representationsproblemet
 - Inferensproblemet
- Relaterade problem
 - Qualification problem

Hur räknar vi upp under vilka omständigheter en handling lyckas?
 - Ramification problem

Hur räknar vi upp alla implicita konsekvenser av en handling?

Successor-state-axiom

- En lösning på frameproblemet
- Successor-state axiom beskriver hur fluents förändras över tid genom att kombinerar effekt- och frameaxiom
 - Handling som gör något sant *eller* det är redan sant och ingen handling har gjort det falskt
- Ex: Gå mot öst

$$\begin{aligned} \forall x,y,t \text{ At}(\text{Agent}, [x+1, y], t+1) \Leftrightarrow \\ (\text{Action}(\text{Forward}, t) \wedge \text{At}(\text{Agent}, [x, y], t) \wedge \text{Direction}(\text{Agent}, \text{East}, t)) \\ \vee \\ (\neg \text{Action}(\text{Forward}, t) \wedge \text{At}(\text{Agent}, [x+1, y], t)) \end{aligned}$$

Resolution i predikatlogik: Unifiering

Resolution

1. Konvertera alla satser till konjunktiv normalform (KNF)
2. Negera vad som ska visas som KNF och lägg till i kunskapsbasen
3. Upprepa till dess en kontradiktion hittas eller annat stoppvillkor
 - a. Välj två klausuler som delar en term och dess komplement (ex. a och $\neg a$)
 - b. Resolventen är disjunktionen av alla termer **med lämpliga substitutioner**
 - c. Om resolventen är tomma mängden så returnera kontradiktion, annars lägg till resolventen i KB

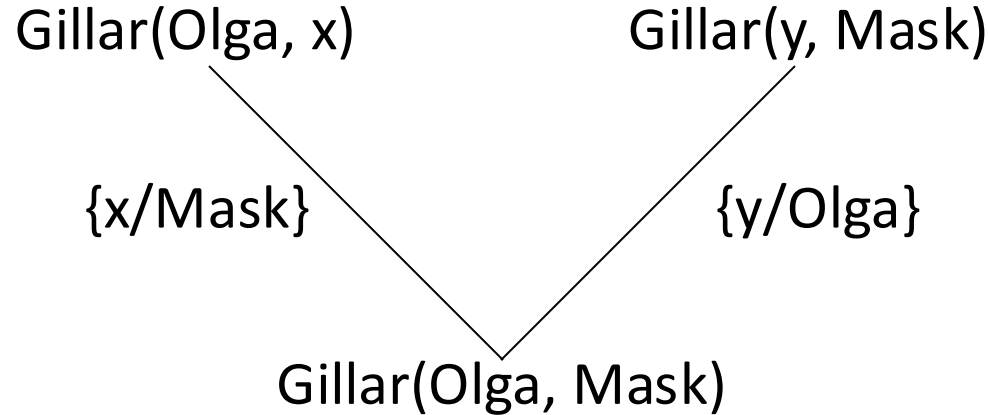
Resolution för predikatlogik

- Hur hanterar vi variabler och kvantifierare?
- Hur konverterar vi predikatlogik till KNF?
- Hur hittar vi resolventer givet två klausuler?

Unifiering

- I predikatlogik förekommer variabler
- För att lyckas med resolution i FOPL behöver man hitta alla lämpliga substitutioner, kallas unifiering
- Variabler byts mot andra variabler eller konstanter, en substitution
- Oftast söker man den mest generella unifieringen, MGU

Unifiering: Exempel 1



$\text{Gillar}(\text{Olga}, x)$ och $\text{Gillar}(y, \text{Mask})$ kan alltså unifieras med hjälp av substitutionerna $\{x/\text{mask}, y/\text{Olga}\}$

OBS: Vi antar nu endast allkvantifierade ($\forall$) variabler, vilket är skälet till att vi får byta ut variablerna mot andra värden eller andra variabler.

Unifiering: Exempel 2

1. $\forall x \text{ M\"anniska}(x) \Rightarrow \text{D\"odlig}(x)$
2. $\forall x \text{ T\"änker}(x) \Rightarrow \text{M\"anniska}(x)$
3. $\text{T\"änker}(\text{Descartes})$

Några viktiga logiska ekvivalenser

- | | |
|---|----------------------------|
| 1. $\alpha \wedge \beta \equiv \beta \wedge \alpha$ | kommutativ lag |
| 2. $\alpha \vee \beta \equiv \beta \vee \alpha$ | kommutativ lag |
| 3. $\alpha \wedge (\beta \wedge \delta) \equiv (\alpha \wedge \beta) \wedge \delta$ | associativ lag |
| 4. $\alpha \vee (\beta \vee \delta) \equiv (\alpha \vee \beta) \vee \delta$ | associativ lag |
| 5. $\neg\neg\alpha \equiv \alpha$ | dubbelnegationseliminering |
| 6. $\alpha \implies \beta \equiv \neg\beta \implies \neg\alpha$ | kontraposition |
| 7. $\alpha \implies \beta \equiv \neg\alpha \vee \beta$ | eliminering av implikation |
| 8. $\alpha \wedge (\beta \vee \delta) \equiv (\alpha \wedge \beta) \vee (\alpha \wedge \delta)$ | distributiv lag |
| 9. $\alpha \vee (\beta \wedge \delta) \equiv (\alpha \vee \beta) \wedge (\alpha \vee \delta)$ | distributiv lag |
| 10. $\neg(\alpha \vee \beta) \equiv \neg\alpha \wedge \neg\beta$ | De Morgan |
| 11. $\neg(\alpha \wedge \beta) \equiv \neg\alpha \vee \neg\beta$ | De Morgan |

Unifiering: Exempel 2

1. $\forall x \text{Människa}(x) \Rightarrow \text{Dödlig}(x)$

2. $\forall x \text{Tänker}(x) \Rightarrow \text{Människa}(x)$

3. $\text{Tänker}(\text{Descartes})$

$\forall x \text{Människa}(x) \Rightarrow \text{Dödlig}(x)$

$\forall x \neg \text{Människa}(x) \vee \text{Dödlig}(x)$

$\neg \text{Människa}(x) \vee \text{Dödlig}(x)$

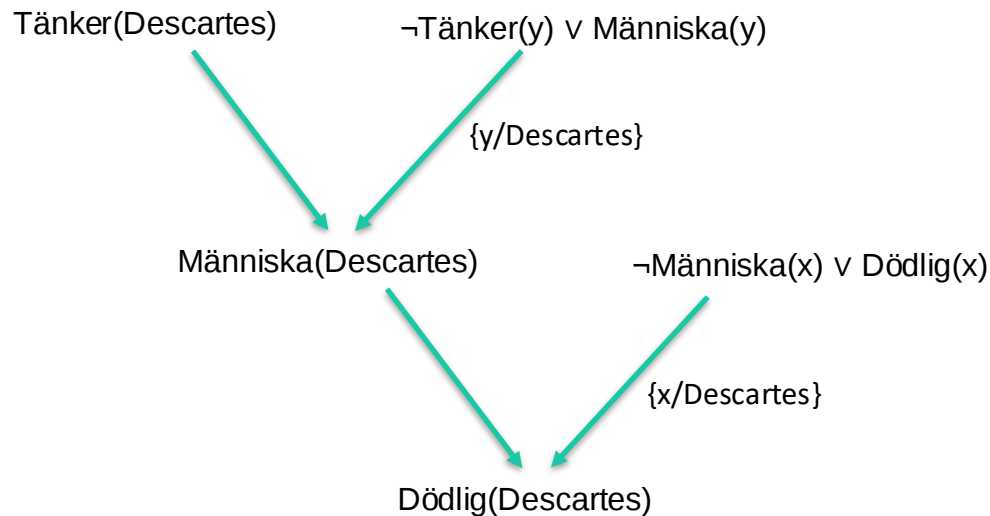
$\forall x \text{Tänker}(x) \Rightarrow \text{Människa}(x)$

$\forall x \neg \text{Tänker}(x) \vee \text{Människa}(x)$

$\neg \text{Tänker}(x) \vee \text{Människa}(x)$

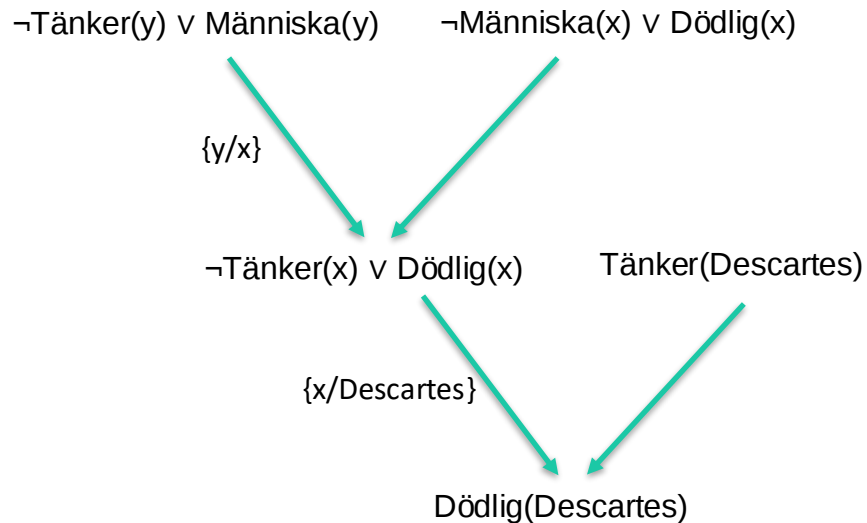
Unifiering: Exempel 2 (1)

1. $\neg \text{Människa}(x) \vee \text{Dödlig}(x)$
2. $\neg \text{Tänker}(y) \vee \text{Människa}(y)$
3. $\text{Tänker}(\text{Descartes})$



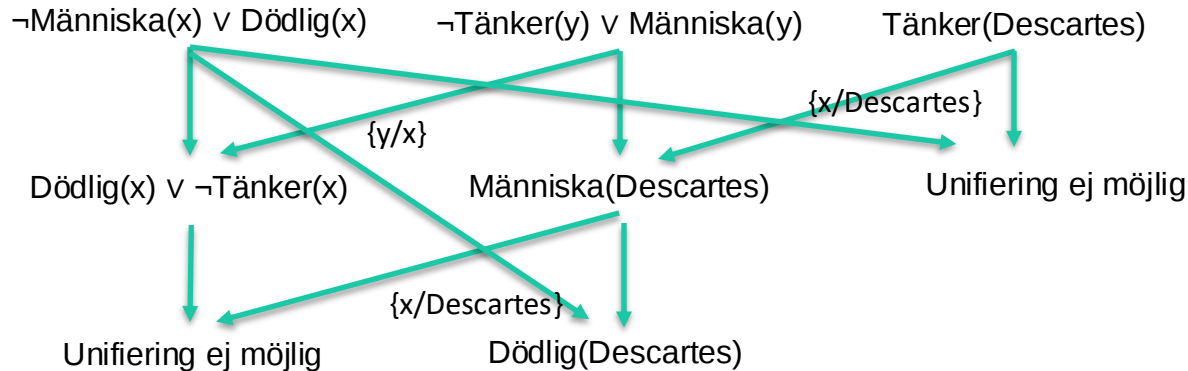
Unifiering: Exempel 2 (2)

1. $\neg \text{Människa}(x) \vee \text{Dödlig}(x)$
2. $\neg \text{Tänker}(y) \vee \text{Människa}(y)$
3. $\text{Tänker}(\text{Descartes})$



Unifiering: Exempel 2 (3)

1. $\neg\text{Människa}(x) \vee \text{Dödlig}(x)$
2. $\neg\text{Tänker}(y) \vee \text{Människa}(y)$
3. $\text{Tänker}(\text{Descartes})$



Unifiering: Exempel 2

1. $\forall x \text{ Hund}(x) \Rightarrow \text{Snäll}(x)$
2. $\forall x (\forall y \text{ Biter}(x, y) \Rightarrow \neg \text{Snäll}(x))$
3. $\text{Biter}(\text{Bob}, \text{Mary})$

$$\forall x \text{ Hund}(x) \Rightarrow \text{Snäll}(x)$$

$$\forall x \neg \text{Hund}(x) \vee \text{Snäll}(x)$$

$$\neg \text{Hund}(x) \vee \text{Snäll}(x)$$

$$\forall x (\forall y \text{ Biter}(x, y) \Rightarrow \neg \text{Snäll}(x))$$

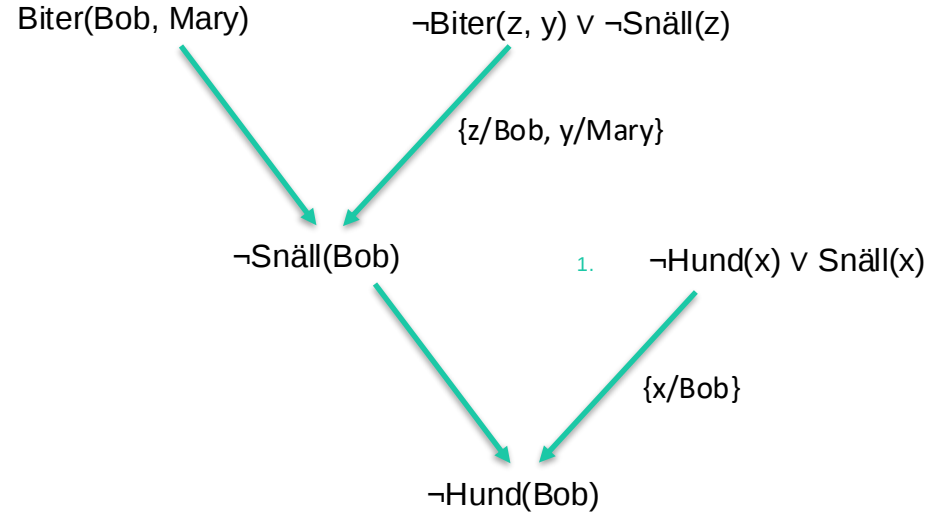
$$\forall x, y \text{ Biter}(x, y) \Rightarrow \neg \text{Snäll}(x)$$

$$\forall x, y \neg \text{Biter}(x, y) \vee \neg \text{Snäll}(x)$$

$$\neg \text{Biter}(x, y) \vee \neg \text{Snäll}(x)$$

Unifiering: Exempel 2

1. $\neg\text{Hund}(x) \vee \text{Snäll}(x)$
2. $\neg\text{Biter}(z, y) \vee \neg\text{Snäll}(z)$
3. $\text{Biter}(\text{Bob}, \text{Mary})$



För resolution fortsätter vi att generera resolventer tills dess kontradiktion uppstår!