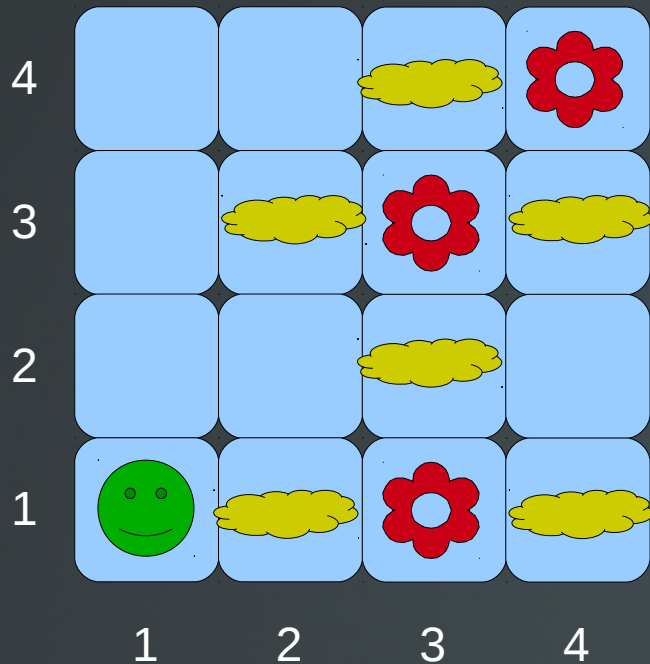


Symbolická umelá inteligencia

Logika ako reprezentačný mechanizmus



Simulované prostredie



😊 Poloha agenta

🌸 Priepasť = po vstupe agent hynie

☁ Prievan = aspoň v jednej zo susedných (nie diagonálne) miestností je priepasť



Reprezentácia a odvodzovanie

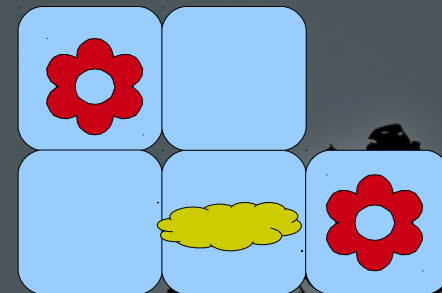
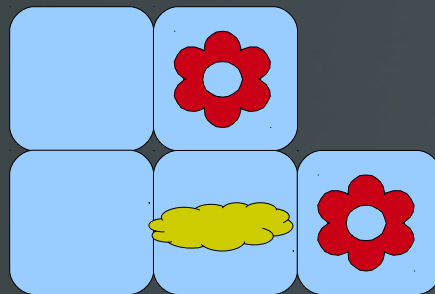
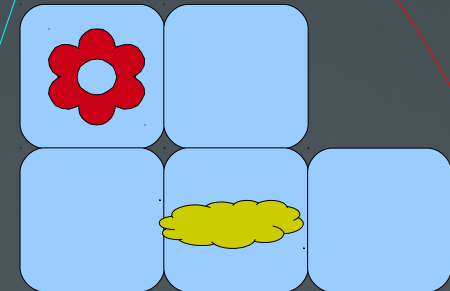
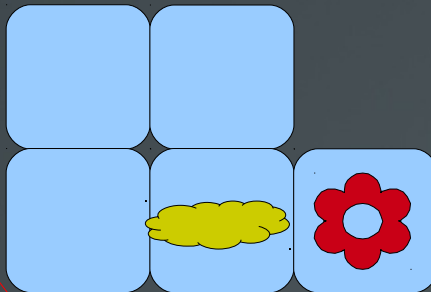
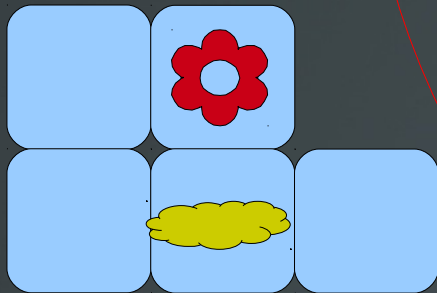
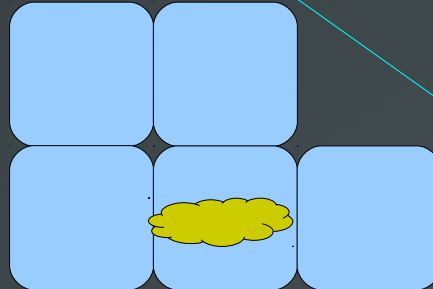
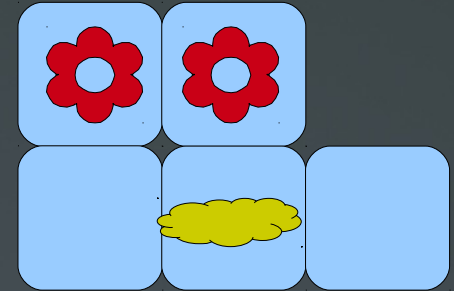
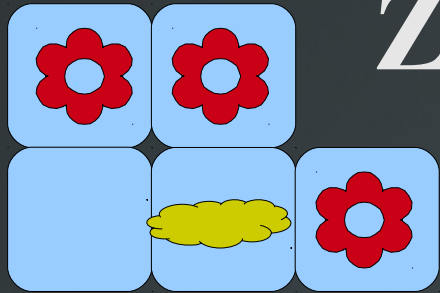
- Syntax
 - Špecifikuje všetky vety ktoré môžu byť správne vytvorené
- Sémantika
 - Vyjadruje význam vytvorených viet
 - Definuje pravdivosť viet pre každý z možných svetov
- Odvodzovanie
 - Zahŕňa generovanie viet a manipuláciu s vetami
 - Logické zahrnutie (entailment) medzi vetami

$$\alpha \vDash \beta$$

kde veta α zahŕňa vetu β



Zahrnutie – agent na (2,1)



Základné vlastnosti

- Soundness / truthpreserving

- Odvádza iba zahrnuté vety

Neodvodí niečo platnosť čoho je sporná

- Kompletnosť

- Odvádza všetky vety ktoré sú zahrnuté

Nevynechá niečo čo je potrebné pre riešenie aktuálnej situácie

- Grounding

- Prepojenie medzi odvodzovacím procesom a reálnym svetom

- Sú vety, zahrnuté v KB, pravdivé ?



Výroková logika - syntax

Veta \rightarrow AtomickáVeta | ZloženáVeta

AtomickáVeta \rightarrow True | False | Symbol

ZloženáVeta \rightarrow

\neg Veta

| (Veta \wedge Veta)

| (Veta \vee Veta)

| (Veta \Rightarrow Veta)

| (Veta \Leftrightarrow Veta)



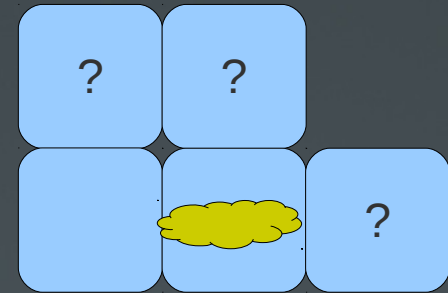
Výroková logika - sémantika

- True je pravdivé v každom z modelov
- False je nepravdivé v každom z modelov
- Pravdivosť symbolu musí byť určená osobitne pre každý model
- Pre každý typ zloženej vety existuje predpis ako pre každý z modelov určiť pravdivosť vety
 - Pravdivostné tabuľky



KB vo výrokovovej logike

- R1: $\neg P11$
- R2: $B11 \Leftrightarrow (P12 \vee P21)$
- R3: $B21 \Leftrightarrow (P11 \vee P22 \vee P31)$
- R4: $\neg B11$
- R5: B21



$$KB = R1 \wedge R2 \wedge R3 \wedge R4 \wedge R5$$



Inferencia vo výrokovovej logike

B11	B21	P11	P12	P21	P22	P31	R1	R2	R3	R4	R5	KB
...
F	T	F	F	F	F	T	T	T	T	T	T	T
F	T	F	F	F	T	F	T	T	T	T	T	T
F	T	F	F	F	T	T	T	T	T	T	T	T
...

KB zahrňa $\neg P12$ a $\neg P21$



Enumeračný algoritmus

FUNCTION (KB, α , symboly, model)

IF empty(symboly) THEN

IF true(KB, model) THEN RETURN true(α , model)

ELSE RETURN true

ELSE

S \leftarrow FIRST(symboly)

Rest \leftarrow REST(symboly)

RETURN

FUNCTION(KB, α ,Rest,EXTEND(S,true,model))

and

FUNCTION(KB, α ,Rest,EXTEND(S,false,model))

Riešenie ako dôkaz hypotézy

KB = axiómy

- R1: $\neg P11$
- R2: $B11 \Leftrightarrow (P12 \vee P21)$
- R3: $B21 \Leftrightarrow (P11 \vee P22 \vee P31)$
- R4: $\neg B11$
- R5: $B21$

α = hypotéza

- $\neg P21$

- R6: $(B11 \Rightarrow (P12 \vee P21)) \wedge ((P12 \vee P21) \Rightarrow B11)$
- R7: $(P12 \vee P21) \Rightarrow B11$
- R8: $\neg B11 \Rightarrow \neg (P12 \vee P21)$
- R9: $\neg (P12 \vee P21)$
- R10: $\neg P12 \wedge \neg P21$
- R11: $\neg P21$



Dôkaz sporom

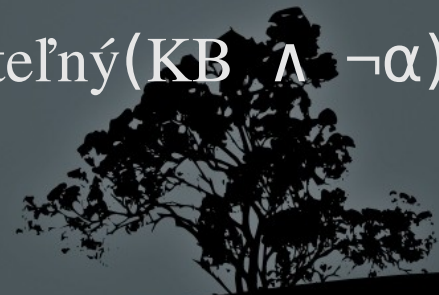
- Potrebne overiť platnosť zahrnutia $KB \models \alpha$ pre nejaké α
- Vlastnosti viet
 - Validita
 - Splniteľnosť
- Platia vzťahy

$KB \models \alpha \leftrightarrow \text{validný}(KB \Rightarrow \alpha)$ - dedukčný teorém

$\text{validný}(KB \Rightarrow \alpha) \leftrightarrow \text{validný}(\neg KB \vee \alpha)$

$\text{validný}(\neg KB \vee \alpha) \leftrightarrow \text{nesplniteľný}(\neg(\neg KB \vee \alpha))$

$\text{nesplniteľný}(\neg(\neg KB \vee \alpha)) \leftrightarrow \text{nesplniteľný}(KB \wedge \neg\alpha)$



Rezolúcia

- Úplný algoritmus iba s jednou akciou – rezolúciou
- Rezolučné pravidlo

$$\frac{l_1 \vee \dots \vee l_k \quad m_1 \vee \dots \vee m_n}{l_1 \vee \dots \vee l_{i-1} \vee l_{i+1} \vee \dots \vee l_k \vee m_1 \vee \dots \vee m_{j-1} \vee m_{j+1} \vee \dots \vee m_n}$$

kde l_i a m_j sú komplementárne literály

- Nad výslednou klauzulou sa robí faktoring
- Rezolúcia neumožňuje generovať vety ale iba overovať ich platnosť

Konjunktívna normálna forma

- CNF = konjunkcia disjunkcií literálov
- Každá veta vo výrokovej logike je ekvivalentná nejakej CNF
- Prevod
 - Eliminácia ekvivalencií
 - Eliminácia implikácií
 - Vnorenie negácie
 - Úprava na CNF



Rezolučný algoritmus

- KB sa rozšíri o negáciu hypotézy: $KB \wedge \neg\alpha$
- Rozšírená KB sa transformuje do CNF
- Kombinujú sa klauzuly obsahujúce komplementárne literály a produkujú sa nové klauzuly až pokiaľ
 - Vznikne prázdna klauzula \rightarrow KB zahŕňa α
 - Nie je možné kombinovať žiadnu dvojicu klauzúl tak aby vznikla ešte neobjavená klauzula \rightarrow KB nezahŕňa α



Príklad použitia rezolúcie

KB

$\neg \alpha$

$\neg P21 \vee B11$

$\neg B11 \vee P12 \vee P21$

$\neg P12 \vee B11$

$\neg B11$

$P12$

$\neg B11 \vee P12 \vee B11$

$\neg P12 \vee P12 \vee P21$

$\neg P21$

$\neg P21 \vee P12 \vee P21$

$\neg B11 \vee P21 \vee B11$

$\neg P12$

Stratégie riadenia rezolúcie

- Výber klauzúl pre rezolúciu
- Stratégie
 - Prehľadávanie do šírky
 - Oporná množina
 - Vstupná rezolúcia
 - Preferencia jednotkového literálu



Predikátová logika 1. rádu - syntax

Veta \rightarrow AtomickáVeta

| (Veta Spojka Veta)

| \neg Veta

| Kvantifikátor Premenná Veta

AtomickáVeta \rightarrow Predikát(Term,...) | Term = Term

Term \rightarrow Funkcia(Term,...)

| Konštanta

| Premenná

Spojka $\rightarrow \wedge \mid \vee \mid \Rightarrow \mid \Leftrightarrow$

Kvantifikátor $\rightarrow \forall \mid \exists$



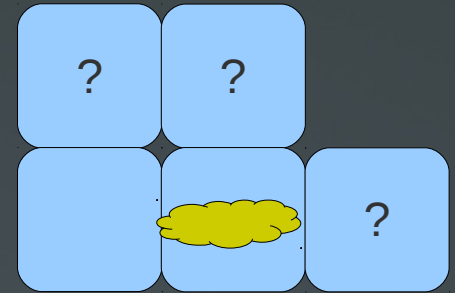
Predikátová logika 1. rádu - sémantika

- Modely obsahujú objekty (doménové elementy), relácie a funkcie
- Interpretácia špecifikuje, ktoré prvky modelu sú popísané konštantami, predikátovými a funkčnými symbolmi
- Pravdivosť každej vety sa určuje na základe modelu a interpretácie vetných symbolov



KB v predikátovej logike 1. rádu

- R1: $\neg \text{Priepast}([1,1])$
- R2: $\forall x,y,a,b \text{ Susedne}([x,y],[a,b]) \Leftrightarrow$
 $[a,b] \in \{[x+1,y],[x-1,y],[x,y+1],[x,y-1]\}$
- R3: $\forall s \text{ Prievan}(s) \Leftrightarrow \exists r \text{ Susedne}(r,s) \wedge \text{Priepast}(r)$
- R4: $\neg \text{Prievan}([1,1])$
- R5: $\text{Prievan}([2,1])$



KB = R1 \wedge R2 \wedge R3 \wedge R4 \wedge R5



CNF – predikátová logika 1.rádu

- Prevod
 - Eliminácia ekvivalencií
 - Eliminácia implikácií
 - Vnorenie negácie
 - *Štandardizácia premenných*
 - *Vylúčenie existenčných kvantifikátorov*
 - *Vylúčenie zovšeobecňovacích kvantifikátorov*
 - Úprava na CNF



Rezolúcia – predikátová logika 1.rádu

- Rezolučné pravidlo

$$\frac{l_1 \vee \dots \vee l_k \quad m_1 \vee \dots \vee m_n}{\text{SUBST}(\theta, l_1 \vee \dots \vee l_{i-1} \vee l_{i+1} \vee \dots \vee l_k \vee m_1 \vee \dots \vee m_{j-1} \vee m_{j+1} \vee \dots \vee m_n)}$$

kde l_i a m_j sú komplementárne literály a substitúcia sa robí podľa $\theta = \text{UNIFY}(l_i, m_j)$

- Nad výslednou klauzulou sa robí faktoring



Unifikácia (1)

UNIFY(x, y, θ)

IF $\theta = \text{failure}$ THEN RETURN failure

ELSEIF $x = y$ THEN RETURN θ

ELSEIF $\text{var}(x)$ THEN RETURN UNIFY-VAR(x, y, θ)

ELSEIF $\text{var}(y)$ THEN RETURN UNIFY-VAR(y, x, θ)

ELSEIF $\text{compound}(x)$ and $\text{compound}(y)$ THEN

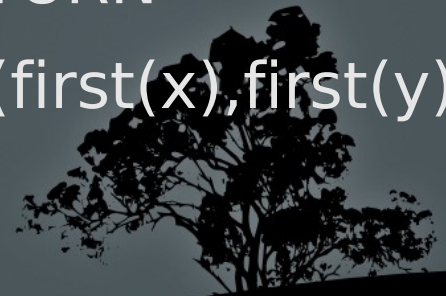
RETURN

UNIFY($\text{args}(x), \text{args}(y), \text{UNIFY}(\text{op}(x), \text{op}(y), \theta)$)

ELSEIF $\text{list}(x)$ and $\text{list}(y)$ THEN RETURN

UNIFY($\text{rest}(x), \text{rest}(y), \text{UNIFY}(\text{first}(x), \text{first}(y), \theta)$)

ELSE RETURN failure



Unifikácia (2)

UNIFY-VAR(var, x, θ)

IF $\{var/val\} \in \theta$ THEN RETURN UNIFY(val, x, θ)

ELSEIF $\{x/val\} \in \theta$ THEN RETURN

UNIFY(var, val, θ)

ELSEIF occur-check(var, x) THEN RETURN failure

ELSE RETURN $\{var/x\} \cup \theta$



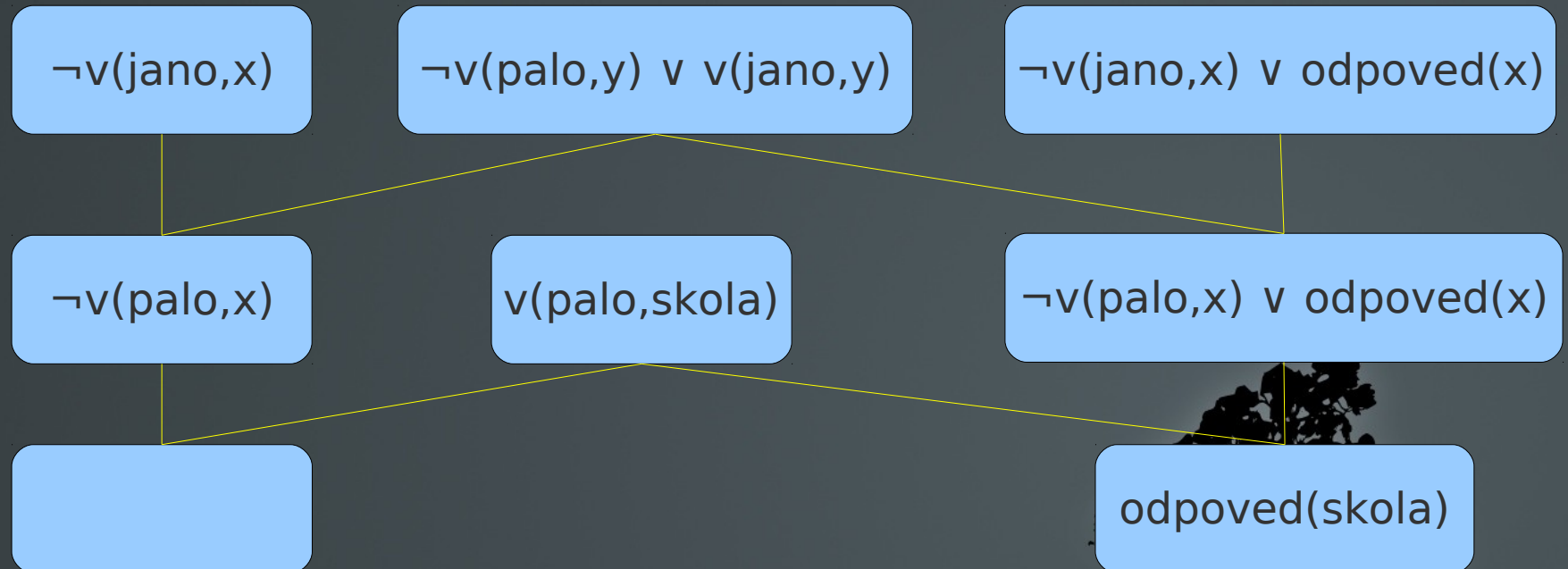
Who killed the cat ?

- Everyone who loves all animals is loved by someone.
- Anyone who kills an animal is loved by no one.
- Jack loves all animals.
- Either Jack or Curiosity killed the cat, who is named Tuna.
- Did Curiosity kill the cat ?



Zodpovedanie otázok

- Ak je Jano stále tam kde je Paľo a ten je v škole, kde je Jano?
 - $\forall x (v(\text{palo},x) \Rightarrow v(\text{jano},x))$
 - $v(\text{palo},\text{skola})$



Riešenie zmien

- V logike niečo, čo je dokázané ako platné, nemôže prestať platiť. Problém so zmenami:
 - Agent bol na nejakej pozícii ale už tam nie je
 - Stav sveta je iný ako v minulosti
- Zaviesť čas (časové okamihy, situácie)
 - Výroky osobitne pre každý čas (výroková logika)
A110 A111 A112 ...
 - Čas ako argument (predikátová logika)
na(kocka1,kocka2,s0), na(kocka1,podložka,s1),...