

Logický agent, výroková logika

Aleš Horák

E-mail: hales@fi.muni.cz
<http://nlp.fi.muni.cz/uui/>

Obsah:

- Logický agent
- Logika
- Výroková logika
- Inference – důkazové metody

Logický agent

znalosti prohledávání stavového prostoru – jen **zadané funkce** (přechodová funkce, cílový test, . . .)

potřeba **obecné formy** umožňující **kombinace** znalostí

Logický agent

znalosti prohledávání stavového prostoru – jen **zadané funkce** (přechodová funkce, cílový test, . . .)

potřeba **obecné formy** umožňující **kombinace** znalostí

→ znalosti logického agenta

Logický agent

znalosti prohledávání stavového prostoru – jen **zadané funkce** (přechodová funkce, cílový test, . . .)

potřeba **obecné formy** umožňující **kombinace** znalostí

→ znalosti logického agenta

logický agent = agent využívající (formálně zadané) **znalosti**
(*knowledge-based agent*)

2 koncepty: {
– **reprezentace** znalostí (*knowledge representation*)
– **vyvozování** znalostí (*knowledge reasoning*) → **inference**

Logický agent

znalosti prohledávání stavového prostoru – jen **zadané funkce** (přechodová funkce, cílový test, ...)

potřeba **obecné formy** umožňující **kombinace** znalostí

→ znalosti logického agenta

logický agent = agent využívající (formálně zadané) **znalosti**
(*knowledge-based agent*)

2 koncepty: {

- **reprezentace** znalostí (*knowledge representation*)
- **vyvozování** znalostí (*knowledge reasoning*) → **inference**

obecné znalosti – důležité v **částečně pozorovatelných** prostředích (*partially observable environments*)

flexibilita logického agenta:

- schopnost řešit i **nové úkoly**
- možnost **učení** nových znalostí
- **úprava** stávajících znalostí podle stavu prostředí

Návrh logického agenta

- agent** musí umět:
- **reprezentovat** stavy, akce, ...
 - zpracovat **nové vstupy** z prostředí
 - **aktualizovat** svůj vnitřní popis světa
 - odvodit **skryté informace** o stavu světa
 - **odvodit** vlastní odpovídající akce

Návrh logického agenta

- agent** musí umět:
- reprezentovat stavy, akce, ...
 - zpracovat nové vstupy z prostředí
 - aktualizovat svůj vnitřní popis světa
 - odvodit skryté informace o stavu světa
 - odvodit vlastní odpovídající akce

přístupy k tvorbě agenta – deklarativní × procedurální (kombinace)

Návrh logického agenta

- agent** musí umět:
- **reprezentovat** stavy, akce, ...
 - zpracovat **nové vstupy** z prostředí
 - **aktualizovat** svůj vnitřní popis světa
 - odvodit **skryté informace** o stavu světa
 - **odvodit** vlastní odpovídající akce

přístupy k tvorbě agenta – **deklarativní** × **procedurální** (kombinace)

návrh agenta → víc pohledů:

- **znalostní hledisko** – tvorba agenta → zadání znalostí pozadí, znalostí domény a cílového požadavku
např. automatické taxi
 - znalost mapy, dopravních pravidel, ...
 - požadavek – dopravit zákazníka na FI MU Brno
- **implementační hledisko** – jaké datové struktury KB obsahuje + algoritmy, které s nimi manipulují

Komponenty agenta, Báze znalostí

komponenty logického agenta:

inferenční stroj (inference engine)

algoritmy nezávislé na doméně

báze znalostí (knowledge base)

znalosti o doméně

Komponenty agenta, Báze znalostí

komponenty logického agenta:

inferenční stroj (inference engine)

algoritmy nezávislé na doméně

báze znalostí (knowledge base)

znalosti o doméně

báze znalostí (KB) =

množina vět (tvrzení) vyjádřených v jazyce reprezentace znalostí

obsah báze znalostí:

- na začátku – tzv. znalosti pozadí (*background knowledge*)
- průběžně doplňované znalosti → úkol **tell(+KB,+Sentence)**

Komponenty agenta, Báze znalostí

komponenty logického agenta:

inferenční stroj (inference engine)

algoritmy nezávislé na doméně

báze znalostí (knowledge base)

znalosti o doméně

báze znalostí (KB) =

množina **vět** (*tvrzení*) vyjádřených v **jazyce reprezentace znalostí**
obsah báze znalostí:

- na začátku – tzv. **znalosti pozadí** (*background knowledge*)
- průběžně **doplňované** znalosti → úkol **tell(+KB,+Sentence)**

akce logického agenta:

```
% kb_agent_action(+KB,+ATime,+Percept,-Action,-NewATime)
```

```
kb_agent_action(KB,ATime,Percept,Action,NewATime):-
```

```
make_percept_sentence(Percept,ATime,Sentence),
```

```
tell(KB,Sentence), %
```

přidáme výsledky pozorování do KB

```
make_action_query(ATime,Query),
```

```
ask(KB,Query,Action), %
```

zeptáme se na další postup

```
make_action_sentence(Action,ATime,ASentence),
```

```
tell(KB,ASentence), %
```

přidáme informace o akci do KB

```
NewATime is ATime + 1.
```

Popis světa – PEAS

zadání světa rozumného agenta:

- **míra výkonnosti** (*Performance measure*)
plus body za dosažené (mezi)cíle, pokuty za nežádoucí následky
- **prostředí** (*Environment*)
objekty ve světě, se kterými agent musí počítat, a jejich vlastnosti
- **akční prvky** (*Actuators*)
možné součásti činnosti agenta, jeho akce se skládají z použití těchto prvků
- **senzory** (*Sensors*)
zpětné vazby akcí agenta, podle jejich výstupů se tvoří další akce

Popis světa – PEAS

zadání světa rozumného agenta:

- **míra výkonnosti** (*Performance measure*)
plus body za dosažené (mezi)cíle, pokuty za nežádoucí následky
- **prostředí** (*Environment*)
objekty ve světě, se kterými agent musí počítat, a jejich vlastnosti
- **akční prvky** (*Actuators*)
možné součásti činnosti agenta, jeho akce se skládají z použití těchto prvků
- **senzory** (*Sensors*)
zpětné vazby akcí agenta, podle jejich výstupů se tvoří další akce

např. zmiňované **automatické taxi**:

míra výkonnosti

prostředí

akční prvky

senzory

Popis světa – PEAS

zadání světa rozumného agenta:

- **míra výkonnosti** (*Performance measure*)
plus body za dosažené (mezi)cíle, pokuty za nežádoucí následky
- **prostředí** (*Environment*)
objekty ve světě, se kterými agent musí počítat, a jejich vlastnosti
- **akční prvky** (*Actuators*)
možné součásti činnosti agenta, jeho akce se skládají z použití těchto prvků
- **senzory** (*Sensors*)
zpětné vazby akcí agenta, podle jejich výstupů se tvoří další akce

např. zmiňované **automatické taxi**:

míra výkonnosti doprava na místo, vzdálenost, bezpečnost, bez přestupků,
komfort, ...

prostředí

akční prvky

senzory

Popis světa – PEAS

zadání světa rozumného agenta:

- **míra výkonnosti** (*Performance measure*)
plus body za dosažené (mezi)cíle, pokuty za nežádoucí následky
- **prostředí** (*Environment*)
objekty ve světě, se kterými agent musí počítat, a jejich vlastnosti
- **akční prvky** (*Actuators*)
možné součásti činnosti agenta, jeho akce se skládají z použití těchto prvků
- **senzory** (*Sensors*)
zpětné vazby akcí agenta, podle jejich výstupů se tvoří další akce

např. zmiňované **automatické taxi**:

míra výkonnosti doprava na místo, vzdálenost, bezpečnost, bez přestupků, komfort, ...

prostředí ulice, křižovatky, účastníci provozu, chodci, počasí, ...

akční prvky

senzory

Popis světa – PEAS

zadání světa rozumného agenta:

- **míra výkonnosti** (*Performance measure*)
plus body za dosažené (mezi)cíle, pokuty za nežádoucí následky
- **prostředí** (*Environment*)
objekty ve světě, se kterými agent musí počítat, a jejich vlastnosti
- **akční prvky** (*Actuators*)
možné součásti činnosti agenta, jeho akce se skládají z použití těchto prvků
- **senzory** (*Sensors*)
zpětné vazby akcí agenta, podle jejich výstupů se tvoří další akce

např. zmiňované **automatické taxi**:

<i>míra výkonnosti</i>	doprava na místo, vzdálenost, bezpečnost, bez přestupků, komfort, ...
<i>prostředí</i>	ulice, křižovatky, účastníci provozu, chodci, počasí, ...
<i>akční prvky</i>	řízení, plyn, brzda, houkačka, blinkry, komunikátory, ...
<i>senzory</i>	

Popis světa – PEAS

zadání světa rozumného agenta:

- **míra výkonnosti** (*Performance measure*)
plus body za dosažené (mezi)cíle, pokuty za nežádoucí následky
- **prostředí** (*Environment*)
objekty ve světě, se kterými agent musí počítat, a jejich vlastnosti
- **akční prvky** (*Actuators*)
možné součásti činnosti agenta, jeho akce se skládají z použití těchto prvků
- **senzory** (*Sensors*)
zpětné vazby akcí agenta, podle jejich výstupů se tvoří další akce

např. zmiňované **automatické taxi**:

<i>míra výkonnosti</i>	doprava na místo, vzdálenost, bezpečnost, bez přestupků, komfort, ...
<i>prostředí</i>	ulice, křižovatky, účastníci provozu, chodci, počasí, ...
<i>akční prvky</i>	řízení, plyn, brzda, houkačka, blinkry, komunikátory, ...
<i>senzory</i>	kamera, tachometr, počítač kilometrů, senzory motoru, GPS, ...

Wumpusova jeskyně

PEAS zadání **Wumpusovy jeskyně**:

● **P** – míra výkonnosti

zlato +1000, smrt -1000, -1 za krok, -10 za užití šípu

● **E** – prostředí

Místnosti vedle Wumpuse zapáchají.

V místnosti vedle jámy je vánek.

V místnosti je zlato \Leftrightarrow je v ní třpyt.

Výstřel zabije Wumpuse, pokud jsi obrácený k němu.

Výstřel vyčerpá jediný šíp, který máš.

Zvednutím vezmeš zlato ve stejné místnosti.

Položením odložíš zlato v aktuální místnosti.

● **A** – akční prvky

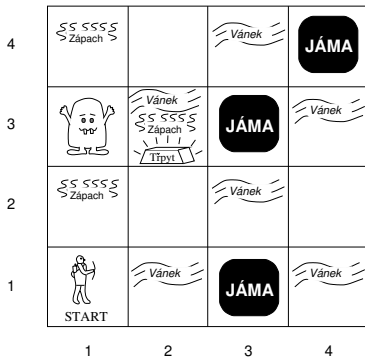
Otočení vlevo, Otočení vpravo, Krok dopředu,

Zvednutí, Položení, Výstřel

● **S** – senzory

Vánek, Třpyt, Zápach, Náraz do zdi,

Chroptění Wumpuse



Vlastnosti problému Wumpusovy jeskyně

pozorovatelné

deterministické

episodické

statické

diskrétní

více agentů

Vlastnosti problému Wumpusovy jeskyně

pozorovatelné **ne**, jen lokální vnímání

deterministické

episodické

statické

diskrétní

více agentů

Vlastnosti problému Wumpusovy jeskyně

pozorovatelné **ne**, jen lokální vnímání

deterministické **ano**, přesně dané výsledky

episodické

statické

diskrétní

více agentů

Vlastnosti problému Wumpusovy jeskyně

<i>pozorovatelné</i>	ne , jen lokální vnímání
<i>deterministické</i>	ano , přesně dané výsledky
<i>episodické</i>	ne , sekvenční na úrovni akcí
<i>statické</i>	
<i>diskrétní</i>	
<i>více agentů</i>	

Vlastnosti problému Wumpusovy jeskyně

<i>pozorovatelné</i>	ne , jen lokální vnímání
<i>deterministické</i>	ano , přesně dané výsledky
<i>episodické</i>	ne , sekvenční na úrovni akcí
<i>statické</i>	ano , Wumpus a jámy se nehýbou
<i>diskrétní</i>	
<i>více agentů</i>	

Vlastnosti problému Wumpusovy jeskyně

<i>pozorovatelné</i>	ne , jen lokální vnímání
<i>deterministické</i>	ano , přesně dané výsledky
<i>episodické</i>	ne , sekvenční na úrovni akcí
<i>statické</i>	ano , Wumpus a jámy se nehýbou
<i>diskrétní</i>	ano
<i>více agentů</i>	

Vlastnosti problému Wumpusovy jeskyně

<i>pozorovatelné</i>	ne , jen lokální vnímání
<i>deterministické</i>	ano , přesně dané výsledky
<i>episodické</i>	ne , sekvenční na úrovni akcí
<i>statické</i>	ano , Wumpus a jámy se nehýbou
<i>diskrétní</i>	ano
<i>více agentů</i>	ne , Wumpus je spíše vlastnost prostředí

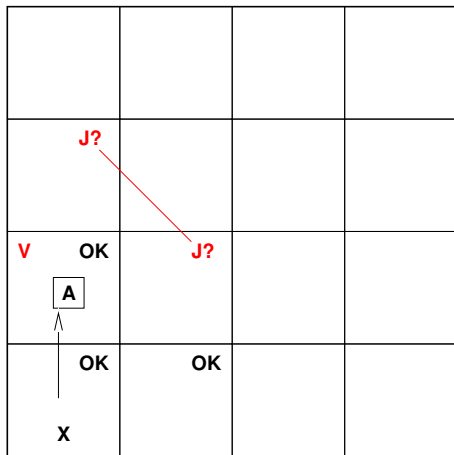
Průzkum Wumpusovy jeskyně

OK			
OK A	OK		

1

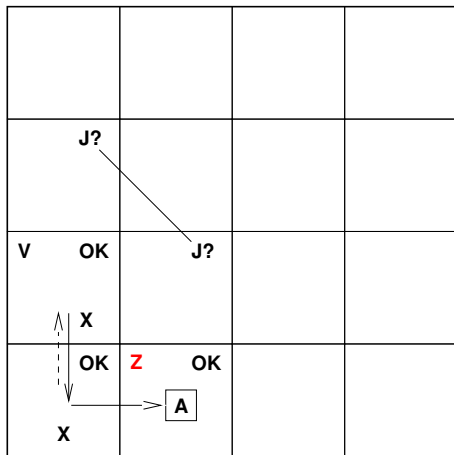
A	=	Agent
V	=	Vánek
T	=	Třpyt
OK	=	bezpečí
J	=	Jáma
Z	=	Zápach
X	=	navštíveno
W	=	Wumpus

Průzkum Wumpusovy jeskyně



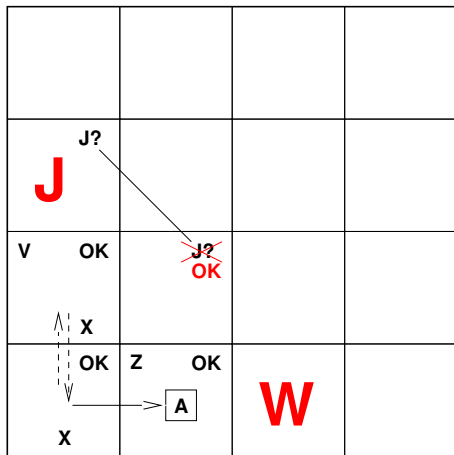
A	=	Agent
V	=	Vánek
T	=	Třpyt
OK	=	bezpečí
J	=	Jáma
Z	=	Zápach
X	=	navštíveno
W	=	Wumpus

Průzkum Wumpusovy jeskyně



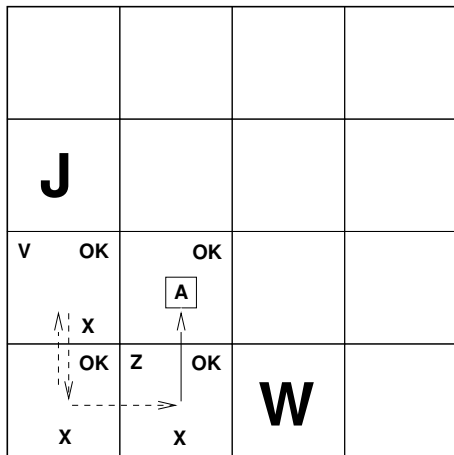
A	=	Agent
V	=	Vánek
T	=	Třpyt
OK	=	bezpečí
J	=	Jáma
Z	=	Zápach
X	=	navštíveno
W	=	Wumpus

Průzkum Wumpusovy jeskyně



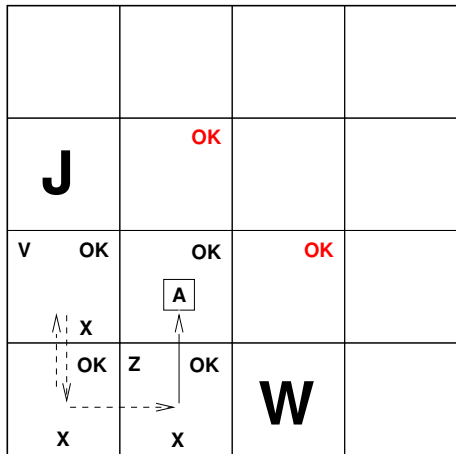
A	=	Agent
V	=	Vánek
T	=	Třpyt
OK	=	bezpečí
J	=	Jáma
Z	=	Zápach
X	=	navštíveno
W	=	Wumpus

Průzkum Wumpusovy jeskyně



A	=	Agent
V	=	Vánek
T	=	Třpyt
OK	=	bezpečí
J	=	Jáma
Z	=	Zápach
X	=	navštíveno
W	=	Wumpus

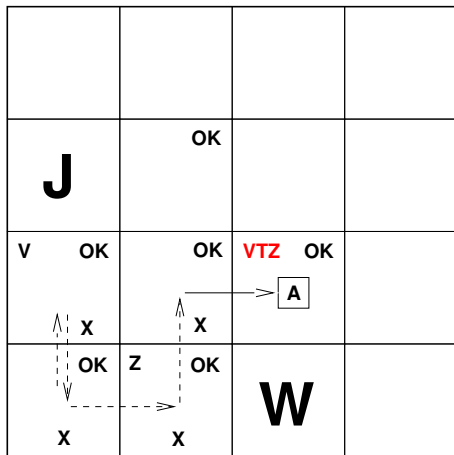
Průzkum Wumpusovy jesyně



6

A	=	Agent
V	=	Vánek
T	=	Třpyt
OK	=	bezpečí
J	=	Jáma
Z	=	Zápach
X	=	navštíveno
W	=	Wumpus

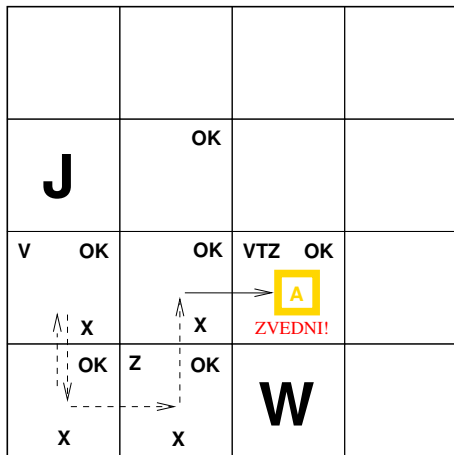
Průzkum Wumpusovy jeskyně



A	=	Agent
V	=	Vánek
T	=	Třpyt
OK	=	bezpečí
J	=	Jáma
Z	=	Zápach
X	=	navštíveno
W	=	Wumpus

7

Průzkum Wumpusovy jeskyně



8

A	=	Agent
V	=	Vánek
T	=	Třpyt
OK	=	bezpečí
J	=	Jáma
Z	=	Zápach
X	=	navštíveno
W	=	Wumpus

Průzkum Wumpusovy jeskyně – problémy

Základní vlastnost logického vyvozování:

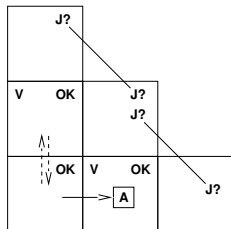
*Kdykoliv agent dospěje k **závěru** z daných informací → tento závěr je **zaručeně** správný, pokud jsou správné dodané informace.*

Průzkum Wumpusovy jeskyně – problémy

Základní vlastnost logického vyvozování:

*Kdykoliv agent dospěje k **závěru** z daných informací → tento závěr je **zaručeně** správný, pokud jsou správné dodané informace.*

Obtížné situace:



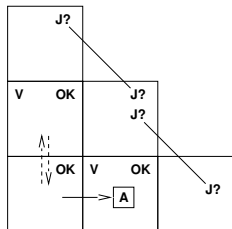
Vánek v (1, 2) i v (2, 1) \Rightarrow žádná bezpečná akce
 Při předpokladu uniformní distribuce děr
 \rightarrow díra v (2, 2) má pravděpodobnost 0.86, na
 krajích 0.31

Průzkum Wumpusovy jeskyně – problémy

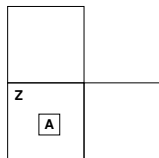
Základní vlastnost logického vyvozování:

Kdykoliv agent dospěje k **závěru** z daných informací \rightarrow tento závěr je **zaručeně** správný, pokud jsou správné dodané informace.

Obtížné situace:



Vánek v (1, 2) i v (2, 1) \Rightarrow žádná bezpečná akce
 Při předpokladu uniformní distribuce děr
 \rightarrow díra v (2, 2) má pravděpodobnost 0.86, na krajích 0.31



Zápach v (1, 1) \Rightarrow nemůže se pohnout

je možné použít **donucovací strategii** (*strategy of coercion*):

1. Výstřel jedním ze směrů
2. byl tam Wumpus \Rightarrow je mrtvý (poznám podle Chroptění) \Rightarrow bezpečné
3. nebyl tam Wumpus (žádné Chroptění) \Rightarrow bezpečný směr

Obsah

- 1 Logický agent
 - Návrh logického agenta
 - Komponenty agenta, Báze znalostí
 - Wumpusova jeskyně
- 2 Logika
 - Důsledek
 - Model
 - Inference
- 3 Výroková logika
 - Sémantika výrokové logiky
 - Logická ekvivalence
 - Platnost a splnitelnost
 - Tvrzení pro Wumpusovu jeskyni
- 4 Inference – důkazové metody
 - Inference kontrolou modelů
 - Dopředné a zpětné řetězení

Logika

Logika = **syntaxe** a **sémantika** formálního jazyka pro reprezentaci znalostí umožňující vyvozování **závěrů**

Syntaxe definuje všechny *dobře utvořené* věty jazyka

Sémantika definuje “*význam*” vět \Rightarrow definuje **pravdivost** vět v jazyce (v závislosti na *možném světě*)

Logika

Logika = **syntaxe** a **sémantika** formálního jazyka pro reprezentaci znalostí umožňující vyvozování **závěrů**

Syntaxe definuje všechny *dobře utvořené věty* jazyka

Sémantika definuje “*význam*” vět \Rightarrow definuje **pravdivost** vět v jazyce (v závislosti na *možném světě*)

např. jazyk aritmetiky:

- $x + 2 \geq y$ je dobře utvořená věta; $x^2 + y >$ není věta

Logika

Logika = **syntaxe** a **sémantika** formálního jazyka pro reprezentaci znalostí umožňující vyvozování **závěrů**

Syntaxe definuje všechny *dobře utvořené věty* jazyka

Sémantika definuje “*význam*” vět \Rightarrow definuje **pravdivost** vět v jazyce (v závislosti na *možném světě*)

např. jazyk aritmetiky:

- $x + 2 \geq y$ je dobře utvořená věta; $x^2 + y >$ není věta
- $x + 2 \geq y$ je pravda \Leftrightarrow číslo $x + 2$ není menší než číslo y

Logika

Logika = **syntaxe** a **sémantika** formálního jazyka pro reprezentaci znalostí umožňující vyvozování **závěrů**

Syntaxe definuje všechny *dobře utvořené* věty jazyka

Sémantika definuje “význam” vět \Rightarrow definuje **pravdivost** vět v jazyce (v závislosti na *možném světě*)

např. jazyk aritmetiky:

- $x + 2 \geq y$ je dobře utvořená věta; $x^2 + y >$ není věta
- $x + 2 \geq y$ je pravda \Leftrightarrow číslo $x + 2$ není menší než číslo y
- $x + 2 \geq y$ je pravda ve světě, kde $x = 7$, $y = 1$

Logika

Logika = **syntaxe** a **sémantika** formálního jazyka pro reprezentaci znalostí umožňující vyvozování **závěrů**

Syntaxe definuje všechny *dobře utvořené věty* jazyka

Sémantika definuje “*význam*” vět \Rightarrow definuje **pravdivost** vět v jazyce (v závislosti na *možném světě*)

např. jazyk aritmetiky:

- $x + 2 \geq y$ je dobře utvořená věta; $x^2 + y >$ není věta
- $x + 2 \geq y$ je pravda \Leftrightarrow číslo $x + 2$ není menší než číslo y
- $x + 2 \geq y$ je pravda ve světě, kde $x = 7$, $y = 1$
- $x + 2 \geq y$ je nepravda ve světě, kde $x = 0$, $y = 6$

Logika

Logika = **syntaxe** a **sémantika** formálního jazyka pro reprezentaci znalostí umožňující vyvozování **závěrů**

Syntaxe definuje všechny *dobře utvořené věty* jazyka

Sémantika definuje “význam” vět \Rightarrow definuje **pravdivost** vět v jazyce (v závislosti na *možném světě*)

např. jazyk aritmetiky:

- $x + 2 \geq y$ je dobře utvořená věta; $x^2 + y >$ není věta
- $x + 2 \geq y$ je pravda \Leftrightarrow číslo $x + 2$ není menší než číslo y
- $x + 2 \geq y$ je pravda ve světě, kde $x = 7$, $y = 1$
- $x + 2 \geq y$ je nepravda ve světě, kde $x = 0$, $y = 6$

zápis na papíře v libovolné syntaxi \rightarrow v KB se jedná o **konfiguraci** (částí) agenta

vlastní **vyvozování** \rightarrow generování a manipulace s těmito konfiguracemi

Důsledek

Důsledek (vyplývání, *entailment*) – jedna věc **logicky vyplývá** z druhé (je jejím důsledkem):

$$KB \models \alpha$$

báze znalostí KB **vyplývá** věta α \Leftrightarrow α je pravdivá ve **všech světech**,
kde je KB pravdivá

Z

Důsledek

Důsledek (vyplývání, *entailment*) – jedna věc **logicky vyplývá** z druhé (je jejím důsledkem):

$$KB \models \alpha$$

Z

báze znalostí KB **vyplývá** věta $\alpha \Leftrightarrow \alpha$ je pravdivá ve **všech světech**, kde je KB pravdivá

např.:

- KB obsahuje věty – “**Češi vyhráli**”
– “**Slováci vyhráli**”

z KB pak vyplývá – “**Češi vyhráli nebo Slováci vyhráli**”

Důsledek

Důsledek (vyplývání, *entailment*) – jedna věc **logicky vyplývá** z druhé (je jejím důsledkem):

$$KB \models \alpha$$

Z

báze znalostí KB **vyplývá** věta $\alpha \Leftrightarrow \alpha$ je pravdivá ve **všech světech**, kde je KB pravdivá

např.:

- KB obsahuje věty – “**Češi vyhráli**”
– “**Slováci vyhráli**”
z KB pak vyplývá – “**Češi vyhráli nebo Slováci vyhráli**”
- z $x + y = 4$ vyplývá $4 = x + y$

Důsledek

Důsledek (vyplývání, *entailment*) – jedna věc **logicky vyplývá** z druhé (je jejím důsledkem):

$$KB \models \alpha$$

Z

báze znalostí KB **vyplývá** věta $\alpha \Leftrightarrow \alpha$ je pravdivá ve **všech světech**, kde je KB pravdivá

např.:

- KB obsahuje věty – “**Češi vyhráli**”
– “**Slováci vyhráli**”
z KB pak vyplývá – “**Češi vyhráli nebo Slováci vyhráli**”
- z $x + y = 4$ vyplývá $4 = x + y$

Důsledek je vztah mezi větami (*syntaxe*), který je založený na *sémantice*.

Model

možný svět = **model** ... formálně strukturovaný (abstraktní) svět,
umožňuje vyhodnocení pravdivosti

říkáme: m je **model** věty $\alpha \iff \alpha$ je pravdivá v m

Model

možný svět = **model** ... formálně strukturovaný (abstraktní) svět,
umožňuje vyhodnocení pravdivosti

říkáme: m je **model** věty $\alpha \Leftrightarrow \alpha$ je pravdivá v m

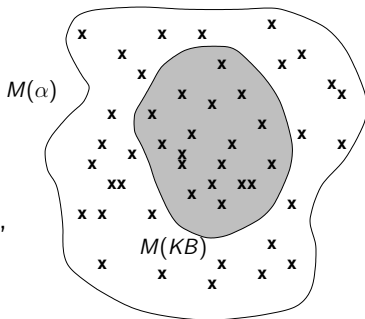
$M(\alpha)$... množina všech modelů věty α

$$KB \models \alpha \Leftrightarrow M(KB) \subseteq M(\alpha)$$

např.:

$$KB = \text{“Češi vyhráli”} \wedge \text{“Slováci vyhráli”}$$

$$\alpha = \text{“Češi vyhráli”}$$



Inference

Vyvozování požadovaných důsledků – inference

$KB \vdash_i \alpha$... věta α může být vyvozena z KB pomocí (procedury) i
 (i odvodí α z KB)

všechny možné důsledky KB jsou “kupka sena”; α je jehla
 vyplývání = jehla v kupce sena; inference = její nalezení

Bezespornost: i je bezesporná $\Leftrightarrow \forall KB \vdash_i \alpha \Rightarrow KB \models \alpha$

Úplnost: i je úplná $\Leftrightarrow \forall KB \models \alpha \Rightarrow KB \vdash_i \alpha$

Inference

Vyvozování požadovaných důsledků – **inference**

$KB \vdash_i \alpha \dots$ věta α může být **vyvozena** z KB pomocí (procedury) i
(i odvodí α z KB)

všechny možné důsledky KB jsou “kupka sena”; α je jehla
vyplývání = jehla v kupce sena; inference = její nalezení

Bezspornost: i je bezsporná $\Leftrightarrow \forall KB \vdash_i \alpha \Rightarrow KB \models \alpha$

Úplnost: i je úplná $\Leftrightarrow \forall KB \models \alpha \Rightarrow KB \vdash_i \alpha$

Vztah k **reálnému světu**:

*Pokud je KB pravdivá v reálném světě $\Rightarrow \forall$ věta α vyvozená z KB pomocí **bezsporné inference** je **také pravdivá** ve skutečném světě*

Jestliže máme sémantiku “pravdivou” v reálném světě \rightarrow můžeme
vyvozovat závěry o skutečném světě pomocí logiky

Obsah

- 1 Logický agent
 - Návrh logického agenta
 - Komponenty agenta, Báze znalostí
 - Wumpusova jeskyně
- 2 Logika
 - Důsledek
 - Model
 - Inference
- 3 Výroková logika
 - Sémantika výrokové logiky
 - Logická ekvivalence
 - Platnost a splnitelnost
 - Tvrzení pro Wumpusovu jeskyni
- 4 Inference – důkazové metody
 - Inference kontrolou modelů
 - Dopředné a zpětné řetězení

Výroková logika

Výroková logika – nejjednodušší logika, ilustruje základní myšlenky

- výrokové symboly P_1, P_2, \dots jsou věty
- negace – S je věta $\Rightarrow \neg S$ je věta
- konjunkce – S_1 a S_2 jsou věty $\Rightarrow S_1 \wedge S_2$ je věta
- disjunkce – S_1 a S_2 jsou věty $\Rightarrow S_1 \vee S_2$ je věta
- implikace – S_1 a S_2 jsou věty $\Rightarrow S_1 \Rightarrow S_2$ je věta
- ekvivalence – S_1 a S_2 jsou věty $\Rightarrow S_1 \Leftrightarrow S_2$ je věta

Sémantika výrokové logiky

- každý model musí určit **pravdivostní hodnoty výrokových symbolů**
např.: $m_1 = \{P_1 = \text{false}, P_2 = \text{false}, P_3 = \text{true}\}$

Sémantika výrokové logiky

- každý model musí určit **pravdivostní hodnoty výrokových symbolů**

např.: $m_1 = \{P_1 = \text{false}, P_2 = \text{false}, P_3 = \text{true}\}$

- pravidla pro vyhodnocení pravdivosti** u složených výroků pro model m :

$\neg S$	je <i>true</i>	\Leftrightarrow	S	je <i>false</i>			
$S_1 \wedge S_2$	je <i>true</i>	\Leftrightarrow	S_1	je <i>true</i>	a	S_2	je <i>true</i>
$S_1 \vee S_2$	je <i>true</i>	\Leftrightarrow	S_1	je <i>true</i>	nebo	S_2	je <i>true</i>
$S_1 \Rightarrow S_2$	je <i>true</i>	\Leftrightarrow	S_1	je <i>false</i>	nebo	S_2	je <i>true</i>
tj.	je <i>false</i>	\Leftrightarrow	S_1	je <i>true</i>	a	S_2	je <i>false</i>
$S_1 \Leftrightarrow S_2$	je <i>true</i>	\Leftrightarrow	$S_1 \Rightarrow S_2$	je <i>true</i>	a	$S_2 \Rightarrow S_1$	je <i>true</i>

Sémantika výrokové logiky

- každý model musí určit **pravdivostní hodnoty výrokových symbolů**

např.: $m_1 = \{P_1 = \text{false}, P_2 = \text{false}, P_3 = \text{true}\}$

- pravidla pro vyhodnocení pravdivosti** u složených výroků pro model m :

$\neg S$	je <i>true</i>	\Leftrightarrow	S	je <i>false</i>			
$S_1 \wedge S_2$	je <i>true</i>	\Leftrightarrow	S_1	je <i>true</i>	a	S_2	je <i>true</i>
$S_1 \vee S_2$	je <i>true</i>	\Leftrightarrow	S_1	je <i>true</i>	nebo	S_2	je <i>true</i>
$S_1 \Rightarrow S_2$	je <i>true</i>	\Leftrightarrow	S_1	je <i>false</i>	nebo	S_2	je <i>true</i>
tj.	je <i>false</i>	\Leftrightarrow	S_1	je <i>true</i>	a	S_2	je <i>false</i>
$S_1 \Leftrightarrow S_2$	je <i>true</i>	\Leftrightarrow	$S_1 \Rightarrow S_2$	je <i>true</i>	a	$S_2 \Rightarrow S_1$	je <i>true</i>

- rekurzivním procesem** vyhodnotíme lib. větu:

$$\neg P_1 \wedge (P_2 \vee P_3) = \text{true} \wedge (\text{false} \vee \text{true}) = \text{true} \wedge \text{true} = \text{true}$$

Sémantika výrokové logiky

- každý model musí určit **pravdivostní hodnoty výrokových symbolů**
např.: $m_1 = \{P_1 = \text{false}, P_2 = \text{false}, P_3 = \text{true}\}$
- pravidla pro vyhodnocení pravdivosti** u složených výroků pro model m :

$\neg S$	je <i>true</i>	\Leftrightarrow	S	je <i>false</i>		
$S_1 \wedge S_2$	je <i>true</i>	\Leftrightarrow	S_1	je <i>true</i>	a	S_2 je <i>true</i>
$S_1 \vee S_2$	je <i>true</i>	\Leftrightarrow	S_1	je <i>true</i>	nebo	S_2 je <i>true</i>
$S_1 \Rightarrow S_2$	je <i>true</i>	\Leftrightarrow	S_1	je <i>false</i>	nebo	S_2 je <i>true</i>
tj.	je <i>false</i>	\Leftrightarrow	S_1	je <i>true</i>	a	S_2 je <i>false</i>
$S_1 \Leftrightarrow S_2$	je <i>true</i>	\Leftrightarrow	$S_1 \Rightarrow S_2$	je <i>true</i>	a	$S_2 \Rightarrow S_1$ je <i>true</i>

- rekurzivním procesem** vyhodnotíme lib. větu:

$$\neg P_1 \wedge (P_2 \vee P_3) = \text{true} \wedge (\text{false} \vee \text{true}) = \text{true} \wedge \text{true} = \text{true}$$

pravdivostní tabulka:

P	Q	$\neg P$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$	$P \Leftrightarrow Q$
<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>true</i>
<i>false</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>false</i>
<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>
<i>true</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>

Logická ekvivalence

Dva výroky jsou **logicky ekvivalentní** právě tehdy, když jsou pravdivé ve stejných modelech:

$$\alpha \equiv \beta \iff \alpha \models \beta \text{ a } \beta \models \alpha$$

$(\alpha \wedge \beta)$	\equiv	$(\beta \wedge \alpha)$	komutativita \wedge
$(\alpha \vee \beta)$	\equiv	$(\beta \vee \alpha)$	komutativita \vee
$((\alpha \wedge \beta) \wedge \gamma)$	\equiv	$(\alpha \wedge (\beta \wedge \gamma))$	asociativita \wedge
$((\alpha \vee \beta) \vee \gamma)$	\equiv	$(\alpha \vee (\beta \vee \gamma))$	asociativita \vee
$\neg(\neg\alpha)$	\equiv	α	eliminace dvojí negace
$(\alpha \Rightarrow \beta)$	\equiv	$(\neg\beta \Rightarrow \neg\alpha)$	kontrapozice
$(\alpha \Rightarrow \beta)$	\equiv	$(\neg\alpha \vee \beta)$	eliminace implikace
$(\alpha \Leftrightarrow \beta)$	\equiv	$((\alpha \Rightarrow \beta) \wedge (\beta \Rightarrow \alpha))$	eliminace ekvivalence
$\neg(\alpha \wedge \beta)$	\equiv	$(\neg\alpha \vee \neg\beta)$	de Morgan
$\neg(\alpha \vee \beta)$	\equiv	$(\neg\alpha \wedge \neg\beta)$	de Morgan
$(\alpha \wedge (\beta \vee \gamma))$	\equiv	$((\alpha \wedge \beta) \vee (\alpha \wedge \gamma))$	distributivita \wedge nad \vee
$(\alpha \vee (\beta \wedge \gamma))$	\equiv	$((\alpha \vee \beta) \wedge (\alpha \vee \gamma))$	distributivita \vee nad \wedge

Platnost a splnitelnost

- Výrok je **platný** \Leftrightarrow je pravdivý ve **všech** modelech
např.: *true*, $A \vee \neg A$, $A \Rightarrow A$, $(A \wedge (A \Rightarrow B)) \Rightarrow B$

Platnost je spojena s vyplýváním pomocí **věty o dedukci**:

$$KB \models \alpha \Leftrightarrow (KB \Rightarrow \alpha) \text{ je platný výrok}$$

Platnost a splnitelnost

- Výrok je **platný** \Leftrightarrow je pravdivý ve **všech** modelech
např.: *true*, $A \vee \neg A$, $A \Rightarrow A$, $(A \wedge (A \Rightarrow B)) \Rightarrow B$

Platnost je spojena s vyplýváním pomocí **věty o dedukci**:

$$KB \models \alpha \Leftrightarrow (KB \Rightarrow \alpha) \text{ je platný výrok}$$

- Výrok je **splnitelný** \Leftrightarrow je pravdivý v **některých** modelech
např.: $A \vee B$, C

Výrok je **nesplnitelný** \Leftrightarrow je **nepravdivý ve všech** modelech

$$\text{např.: } A \wedge \neg A$$

Splnitelnost je spojena s vyplýváním pomocí **důkazu α sporem** (*reductio ad absurdum*):

$$KB \models \alpha \Leftrightarrow (KB \wedge \neg \alpha) \text{ je nesplnitelný}$$

Tvrzení pro Wumpusovu jeskyni

Definujeme výrokové symboly $J_{i,j}$ je pravda \Leftrightarrow Na $[i, j]$ je **Jáma**.
a $V_{i,j}$ je pravda \Leftrightarrow Na $[i, j]$ je **Vánek**.

Tvrzení pro Wumpusovu jeskyni

Definujeme výrokové symboly $J_{i,j}$ je pravda \Leftrightarrow Na $[i, j]$ je **Jáma**.
 a $V_{i,j}$ je pravda \Leftrightarrow Na $[i, j]$ je **Vánek**.

báze znalostí KB :

- pravidlo pro $[1, 1]$: $R_1: \neg J_{1,1}$
- pozorování: $R_2: \neg V_{1,1}, R_3: V_{2,1}$
- pravidla pro vztah Jámy a Vánku:

“Jámy způsobují Vánku ve vedlejších místnostech”

$$R'_4: V_{1,1} \Leftrightarrow (J_{1,2} \vee J_{2,1})$$

$$R'_5: V_{2,1} \Leftrightarrow (J_{1,1} \vee J_{2,2} \vee J_{3,1})$$

?	?		
	$\overset{v}{\dashrightarrow}$ <div style="display: inline-block; border: 1px solid black; padding: 2px;">A</div>	?	

Tvrzení pro Wumpusovu jeskyni

Definujeme výrokové symboly $J_{i,j}$ je pravda \Leftrightarrow Na $[i, j]$ je **Jáma**.
 a $V_{i,j}$ je pravda \Leftrightarrow Na $[i, j]$ je **Vánek**.

báze znalostí *KB*:

- pravidlo pro $[1, 1]$: $R_1: \neg J_{1,1}$
- pozorování: $R_2: \neg V_{1,1}$, $R_3: V_{2,1}$
- pravidla pro vztah Jámy a Vánku:

“Jámy způsobují Vánku ve vedlejších místnostech”

$$R'_4: V_{1,1} \Leftrightarrow (J_{1,2} \vee J_{2,1})$$

$$R'_5: V_{2,1} \Leftrightarrow (J_{1,1} \vee J_{2,2} \vee J_{3,1})$$

?	?		
		?	

“V poli je Vánek **právě tehdy, když** je ve vedleším poli Jáma.”

$$R_4: V_{1,1} \Leftrightarrow (J_{1,2} \vee J_{2,1})$$

$$R_5: V_{2,1} \Leftrightarrow (J_{1,1} \vee J_{2,2} \vee J_{3,1})$$

Tvrzení pro Wumpusovu jeskyni

Definujeme výrokové symboly $J_{i,j}$ je pravda \Leftrightarrow Na $[i, j]$ je **Jáma**.
 a $V_{i,j}$ je pravda \Leftrightarrow Na $[i, j]$ je **Vánek**.


báze znalostí KB :

- pravidlo pro $[1, 1]$: $R_1: \neg J_{1,1}$
- pozorování: $R_2: \neg V_{1,1}$, $R_3: V_{2,1}$
- pravidla pro vztah Jámy a Vánku:

“Jámy způsobují Vánku ve vedlejších místnostech”

$$R'_4: V_{1,1} \Leftrightarrow (J_{1,2} \vee J_{2,1})$$

$$R'_5: V_{2,1} \Leftrightarrow (J_{1,1} \vee J_{2,2} \vee J_{3,1})$$

?	?		
		?	

“V poli je Vánek **právě tehdy, když** je ve vedleším poli Jáma.”

$$R_4: V_{1,1} \Leftrightarrow (J_{1,2} \vee J_{2,1})$$

$$R_5: V_{2,1} \Leftrightarrow (J_{1,1} \vee J_{2,2} \vee J_{3,1})$$

- $KB = R_1 \wedge R_2 \wedge R_3 \wedge R_4 \wedge R_5$

Obsah

- 1 Logický agent
 - Návrh logického agenta
 - Komponenty agenta, Báze znalostí
 - Wumpusova jeskyně
- 2 Logika
 - Důsledek
 - Model
 - Inference
- 3 Výroková logika
 - Sémantika výrokové logiky
 - Logická ekvivalence
 - Platnost a splnitelnost
 - Tvrzení pro Wumpusovu jeskyni
- 4 Inference – důkazové metody
 - Inference kontrolou modelů
 - Dopředné a zpětné řetězení

Inference – důkazové metody

- kontrola modelů (*model checking*)
 - procházení pravdivostní tabulky (vždycky exponenciální v n)
 - vylepšené prohledávání s navracením (*improved backtracking*), např. Davis–Putnam–Logemann–Loveland
 - heuristické prohledávání prostoru modelů (bezesporné, ale neúplné)

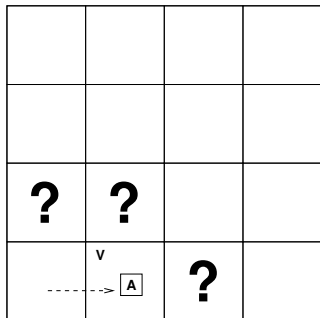
Inference – důkazové metody

- kontrola modelů (*model checking*)
 - procházení pravdivostní tabulky (vždycky exponenciální v n)
 - vylepšené prohledávání s navracením (*improved backtracking*), např. Davis–Putnam–Logemann–Loveland
 - heuristické prohledávání prostoru modelů (bezesporné, ale neúplné)
- aplikace inferenčních pravidel
 - legitimní (bezesporné) generování nových výroků ze starých
 - **důkaz** = sekvence aplikací inferenčních pravidel
je možné použít inferenční pravidla jako operátory ve standardních prohledávacích algoritmech
 - typicky vyžaduje překlad vět do **normální formy**

Inference ve Wumpusově jeskyni

situace:

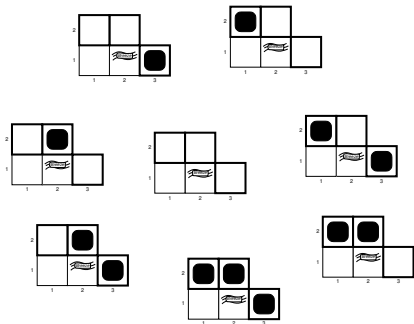
- v $[1, 1]$ nedetekováno nic
- krok doprava, v $[2, 1]$ Vánek uvažujeme možné **modely** pro '?' (budou nás zajímat jen Jámy)



3 pole s Booleovskými možnostmi $\{T, F\}$ $\Rightarrow 2^3 = 8$ možných modelů

Modely ve Wumpusově jeskyni

uvažujeme všech 8 možných modelů:



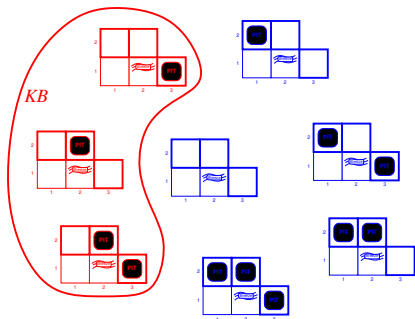
KB = pravidla Wumpusovy jeskyně + pozorování

α_1 = “[1, 2] je bezpečné pole”

α_2 = “[2, 2] je bezpečné pole”

Modely ve Wumpusově jeskyni

uvažujeme všech 8 možných modelů:



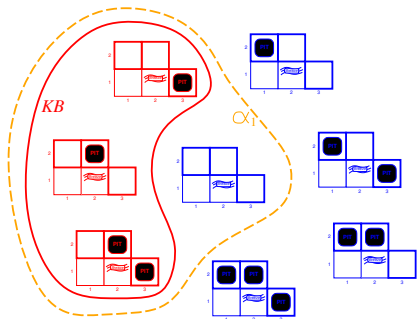
KB = pravidla Wumpusovy jeskyně + pozorování

α_1 = “[1, 2] je bezpečné pole”

α_2 = “[2, 2] je bezpečné pole”

Modely ve Wumpusově jeskyni

uvažujeme všech 8 možných modelů:



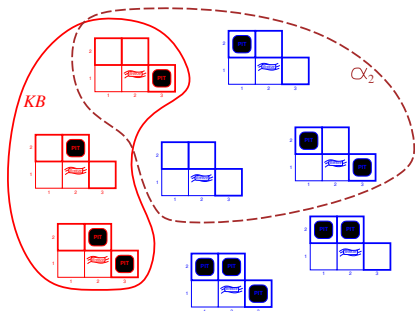
KB = pravidla Wumpusovy jeskyně + pozorování

α_1 = “[1, 2] je bezpečné pole” $KB \models \alpha_1$, pomocí kontroly modelů

α_2 = “[2, 2] je bezpečné pole”

Modely ve Wumpusově jeskyni

uvažujeme všech 8 možných modelů:



KB = pravidla Wumpusovy jeskyně + pozorování

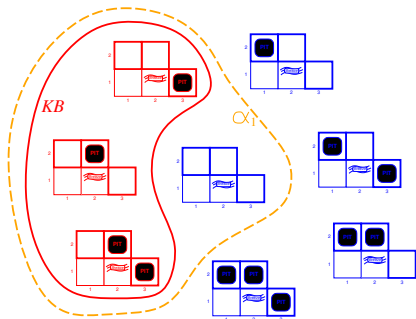
α_1 = “[1, 2] je bezpečné pole”

α_2 = “[2, 2] je bezpečné pole”

$KB \not\models \alpha_2 \iff \exists$ modely: KB je pravdivá $\wedge \alpha_2$ je nepravdivá

Modely ve Wumpusově jeskyni

uvažujeme všech 8 možných modelů:



KB = pravidla Wumpusovy jeskyně + pozorování

α_1 = “[1, 2] je bezpečné pole”

$KB \models \alpha_1$

α_2 = “[2, 2] je bezpečné pole”

$KB \not\models \alpha_2$

kontrola modelů → jednoduchý způsob **logické inference**

Pravdivostní tabulka pro inferenci

$V_{1,1}$	$V_{2,1}$	$J_{1,1}$	$J_{1,2}$	$J_{2,1}$	$J_{2,2}$	$J_{3,1}$	KB	α_1
false	false	false	false	false	false	false	false	true
false	false	false	false	false	false	true	false	true
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
false	true	false	false	false	false	false	false	true
false	true	false	false	false	false	true	<u>true</u>	<u>true</u>
false	true	false	false	false	true	false	<u>true</u>	<u>true</u>
false	true	false	false	false	true	true	<u>true</u>	<u>true</u>
false	true	false	false	true	false	false	false	true
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
true	true	true	true	true	true	true	false	false

KB = pravidla Wumpusovy jeskyně + pozorování

α_1 = “[1, 2] je bezpečné pole”

Inference kontrolou modelů

Kontrola všech **modelů do hloubky** je bezesporná a úplná (pro konečný počet výrokových symbolů)

```
% tt_entails(+KB,+Alpha)
```

```
tt_entails(KB,Alpha):- proposition_symbols(Symbols,[KB,Alpha]),
    tt_check_all(KB,Alpha,Symbols,[]).
```

vrací **true**, pokud je **Alpha** pravdivá v **Modelu**

```
% tt_check_all(+KB,+Alpha,+Symbols,+Model)
```

```
tt_check_all(KB,Alpha,[],Model):- pl_true(KB,Model),!,pl_true(Alpha,Model).
```

```
tt_check_all(KB,Alpha,[],Model):- !.
```

```
tt_check_all(KB,Alpha,[P|Symbols],Model):- % vytvoříme modely pro ∀ hodnoty symbolů
```

```
    tt_check_all(KB,Alpha,Symbols,[P-true|Model]),
```

```
    tt_check_all(KB,Alpha,Symbols,[P-false|Model]).
```

$O(2^n)$ pro n symbolů, NP-úplný problém

Dopředné a zpětné řetězení

KB = konjunkce Hornových klauzulí

Hornova klauzule = $\begin{cases} \text{výrokový symbol; nebo} \\ \text{(konjunkce symbolů)} \Rightarrow \text{symbol} \end{cases}$

např.: $KB = C \wedge (B \Rightarrow A) \wedge (C \wedge D \Rightarrow B)$

Dopředné a zpětné řetězení

KB = konjunkce Hornových klauzulí

Hornova klauzule = $\begin{cases} \text{výrokový symbol; nebo} \\ \text{(konjunkce symbolů)} \Rightarrow \text{symbol} \end{cases}$

např.: $KB = C \wedge (B \Rightarrow A) \wedge (C \wedge D \Rightarrow B)$

pravidlo **Modus Ponens** – pro KB z Hornových klauzulí je úplné

$$\frac{\alpha_1, \dots, \alpha_n, \quad \alpha_1 \wedge \dots \wedge \alpha_n \Rightarrow \beta}{\beta}$$

pravidla pro logickou ekvivalenci se taky dají použít pro inferenci

Dopředné a zpětné řetězení

KB = konjunkce Hornových klauzulí

Hornova klauzule = $\begin{cases} \text{výrokový symbol; nebo} \\ \text{(konjunkce symbolů)} \Rightarrow \text{symbol} \end{cases}$

např.: $KB = C \wedge (B \Rightarrow A) \wedge (C \wedge D \Rightarrow B)$

pravidlo **Modus Ponens** – pro KB z Hornových klauzulí je **úplné**

$$\frac{\alpha_1, \dots, \alpha_n, \quad \alpha_1 \wedge \dots \wedge \alpha_n \Rightarrow \beta}{\beta}$$

pravidla pro logickou ekvivalenci se taky dají použít pro inferenci

inferenci Hornových klauzulí \rightarrow algoritmus **dopředného** nebo **zpětného řetězení**

oba tyto algoritmy jsou přirozené a mají **lineární** časovou složitost

Dopředné řetězení

Idea: aplikuj pravidlo, jehož premisy jsou splněné v *KB*
přidej jeho důsledek do *KB*
pokračuj do doby, než je nalezena odpověď

Dopředné řetězení

Idea: aplikuj pravidlo, jehož premisy jsou splněné v *KB*
 přidej jeho důsledek do *KB*
 pokračuj do doby, než je nalezena odpověď

KB:

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

$$B \wedge L \Rightarrow M$$

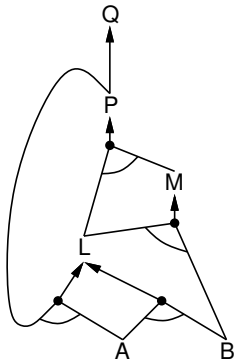
$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

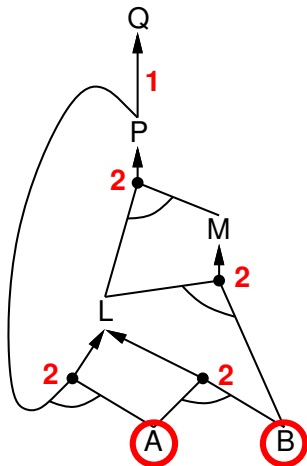
B

AND-OR graf *KB*:



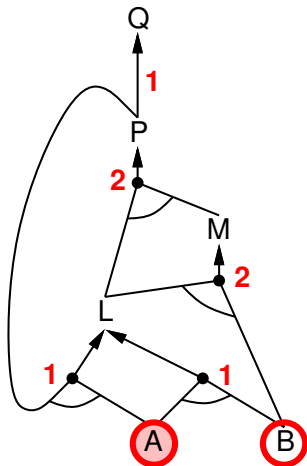
Dopředné řetězení – příklad

$P \Rightarrow Q$
 $L \wedge M \Rightarrow P$
 $B \wedge L \Rightarrow M$
 $A \wedge P \Rightarrow L$
 $A \wedge B \Rightarrow L$
 A
 B



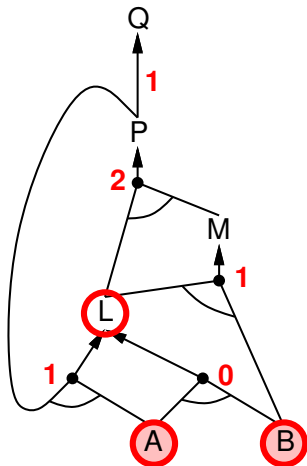
Dopředné řetězení – příklad

$P \Rightarrow Q$
 $L \wedge M \Rightarrow P$
 $B \wedge L \Rightarrow M$
 $A \wedge P \Rightarrow L$
 $A \wedge B \Rightarrow L$
A
B



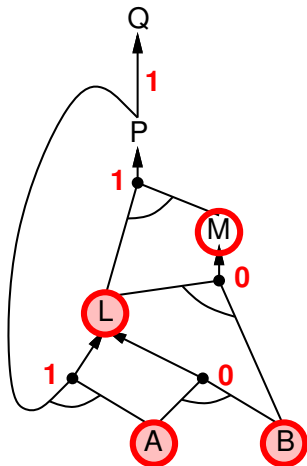
Dopředné řetězení – příklad

$P \Rightarrow Q$
 $L \wedge M \Rightarrow P$
 $B \wedge L \Rightarrow M$
 $A \wedge P \Rightarrow L$
 $A \wedge B \Rightarrow L$
A
B



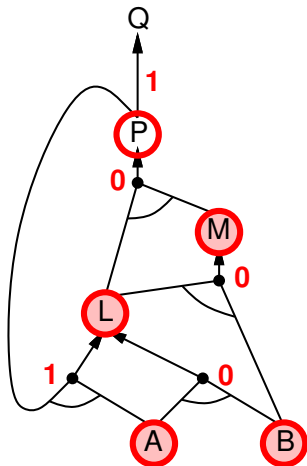
Dopředné řetězení – příklad

$P \Rightarrow Q$
 $L \wedge M \Rightarrow P$
 $B \wedge L \Rightarrow M$
 $A \wedge P \Rightarrow L$
 $A \wedge B \Rightarrow L$
A
B



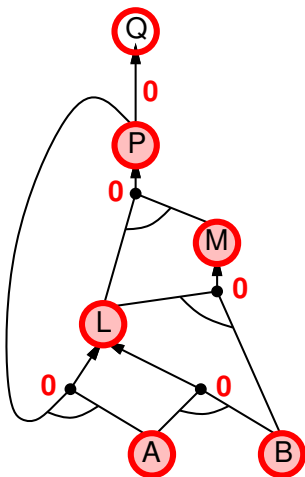
Dopředné řetězení – příklad

$P \Rightarrow Q$
 $L \wedge M \Rightarrow P$
 $B \wedge L \Rightarrow M$
 $A \wedge P \Rightarrow L$
 $A \wedge B \Rightarrow L$
 A
 B



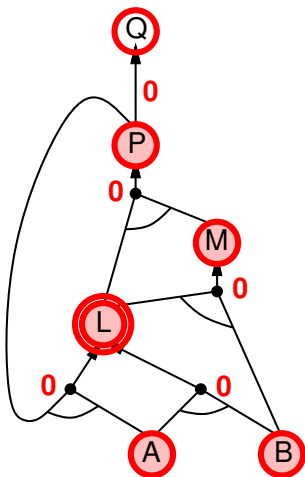
Dopředné řetězení – příklad

$P \Rightarrow Q$
 $L \wedge M \Rightarrow P$
 $B \wedge L \Rightarrow M$
 $A \wedge P \Rightarrow L$
 $A \wedge B \Rightarrow L$
 A
 B



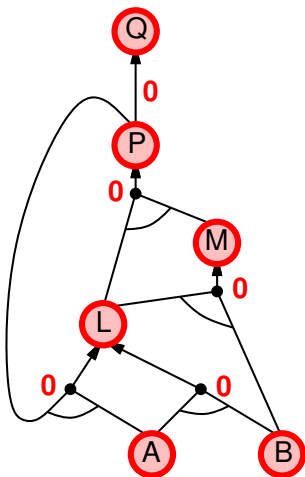
Dopředné řetězení – příklad

$P \Rightarrow Q$
 $L \wedge M \Rightarrow P$
 $B \wedge L \Rightarrow M$
 $A \wedge P \Rightarrow L$
 $A \wedge B \Rightarrow L$
 A
 B



Dopředné řetězení – příklad

$P \Rightarrow Q$
 $L \wedge M \Rightarrow P$
 $B \wedge L \Rightarrow M$
 $A \wedge P \Rightarrow L$
 $A \wedge B \Rightarrow L$
 A
 B



Algoritmus dopředného řetězení

```
:- op( 800, fx, if),
   op( 700, xfx, then),
   op( 300, xfy, or),
   op( 200, xfy, and).
```

```
forward :- new_derived_fact( P), !, %
   write( 'Derived: '), write( P), nl,
   assert( fact( P)),
   forward %
; write( 'No more facts'), nl. %
```

Nový fakt

*Pokračuje generování faktů
Všechny fakty odvozeny*

```
new_derived_fact( Concl) :- if Cond then Concl, %
   \+ fact( Concl), %
   composed_fact( Cond). %
```

Pravidlo

*Concl ještě není fakt
Cond je true?*

```
composed_fact( Cond) :- fact( Cond). %
```

Jednoduchý fakt

```
composed_fact( Cond1 and Cond2) :- composed_fact( Cond1), composed_fact( Cond2).
composed_fact( Cond1 or Cond2) :- composed_fact( Cond1); composed_fact( Cond2).
```

Zpětné řetězení

Idea: pracuje **zpětně** od dotazu q
zkontroluj, jestli není q už známo
dokaž zpětným řetězením všechny **premisy** nějakého pravidla,
které má q jako důsledek

kontrola cyklů – pro každý podcíl se nejprve podívej, jestli už nebyl řešen
(tj. pamatuje si *true* i *false* výsledek)

Zpětné řetězení – příklad

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

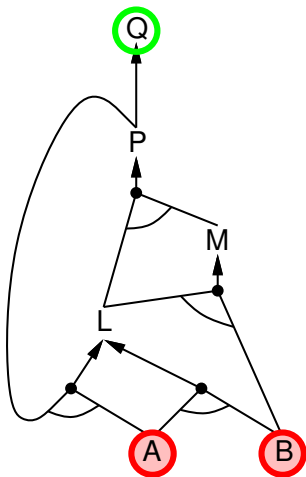
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



Zpětné řetězení – příklad

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

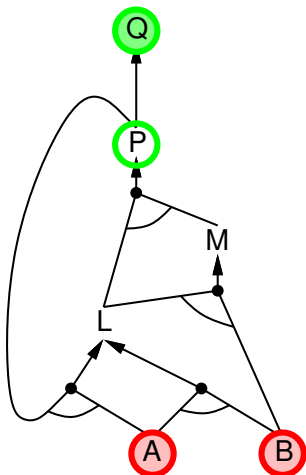
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



Zpětné řetězení – příklad

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

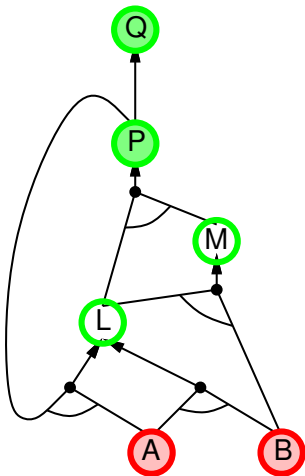
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



Zpětné řetězení – příklad

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

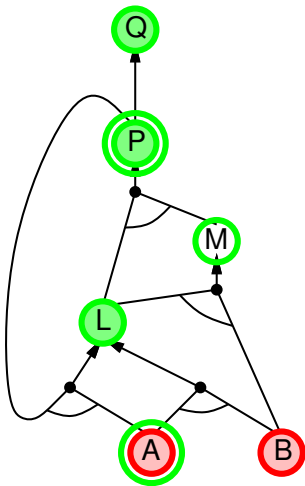
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



Zpětné řetězení – příklad

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

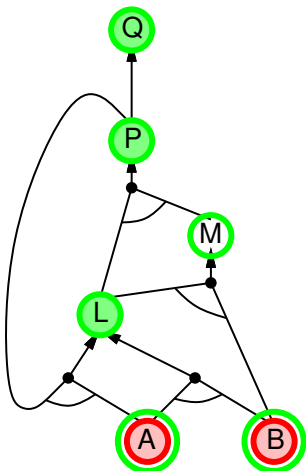
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



Zpětné řetězení – příklad

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

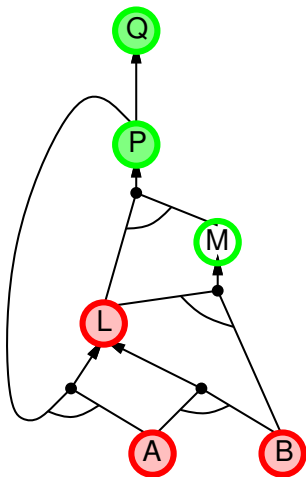
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



Zpětné řetězení – příklad

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

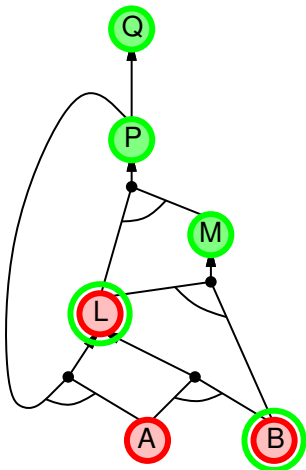
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



Zpětné řetězení – příklad

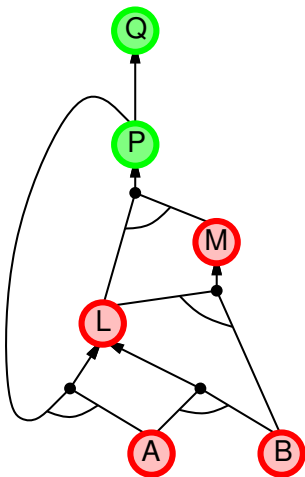
$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

$$A$$
$$B$$


Zpětné řetězení – příklad

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

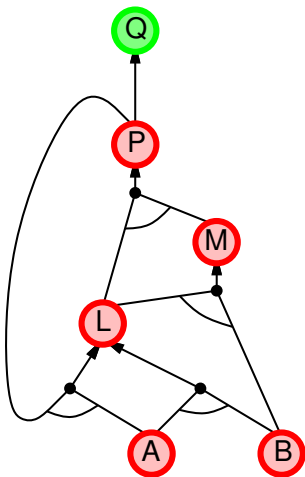
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



Zpětné řetězení – příklad

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

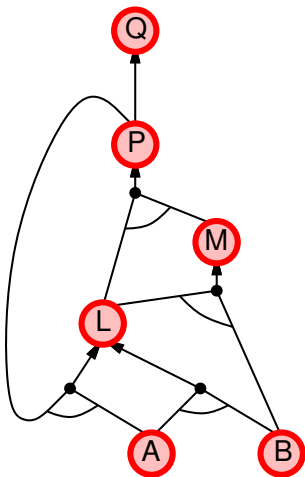
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



Porovnání dopředného a zpětného řetězení

- **dopředné řetězení** je řízeno **daty**

- automatické, nevědomé zpracování
- např. rozpoznávání objektů, rutinní rozhodování
- může udělat hodně nadbytečné práce bez vztahu k dotazu/cíli

- **zpětné řetězení** je řízeno **dotazem**

- vhodné pro hledání odpovědí na konkrétní dotaz
- např. “Kde jsou moje klíče?” “Jak se mám přihlásit na PGS?”
- složitost zpětného řetězení **může** být **mnohem menší** než lineární vzhledem k velikosti *KB*

obecný inferenční algoritmus – **rezoluce**

zpracovává formule v **konjunktivní normální formě** (konjunkce disjunkcí literálů)

rezoluce je **bezesporná** a **úplná** pro výrokovou logiku i predikátovou logiku

1. řádu