

Logický agent, výroková logika

Aleš Horák

E-mail: `hales@fi.muni.cz`

`http://nlp.fi.muni.cz/uui/`

Obsah:

- Logický agent
- Wumpusova jeskyně
- Logika
- Výroková logika
- Důkazové metody

LOGICKÝ AGENT

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

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

LOGICKÝ AGENT

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

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

rozdíly od prohledávání stavového prostoru:

- **znalost** při prohledávání stavového prostoru → jen **zadané funkce** (přechodová funkce, cílový test, . . .)
- znalosti logického agenta → **obecná forma** umožňující **kombinace** těchto znalostí

LOGICKÝ AGENT

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

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

rozdíly od prohledávání stavového prostoru:

- **znalost** při prohledávání stavového prostoru → jen **zadané funkce** (přechodová funkce, cílový test, . . .)
- znalosti logického agenta → **obecná forma** umožňující **kombinace** těchto znalostí

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 (systému) – **deklarativní** × **procedurální** (kombinace obou)

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 (systému) – **deklarativní** × **procedurální** (kombinace obou)

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:

inference engine (inference engine)

← algoritmy nezávislé na doméně

knowledge base (knowledge base)

← “informace” o doméně

KOMPONENTY AGENTA, BÁZE ZNALOSTÍ

komponenty logického agenta:

inferenční stroj (inference engine)
báze znalostí (knowledge base)

← algoritmy nezávislé na doméně

← “informace” 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)

← “informace” 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.
```

✓ ●	Logický agent	2
⇒ ●	Wumpusova jeskyně	4
●	Logika	10
●	Výroková logika	16
●	Důkazové metody	22

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:

<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>	
<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>	

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 ⇔ je v ní třpyt

Výstřel zabije Wumpuse, pokud jsi obrácený k němu

Výstřel vyčerpá jediný šíp, který máš

Zvednutím vezmeš zlato ve stejné místnosti

Položení odloží zlato v aktuální místnosti

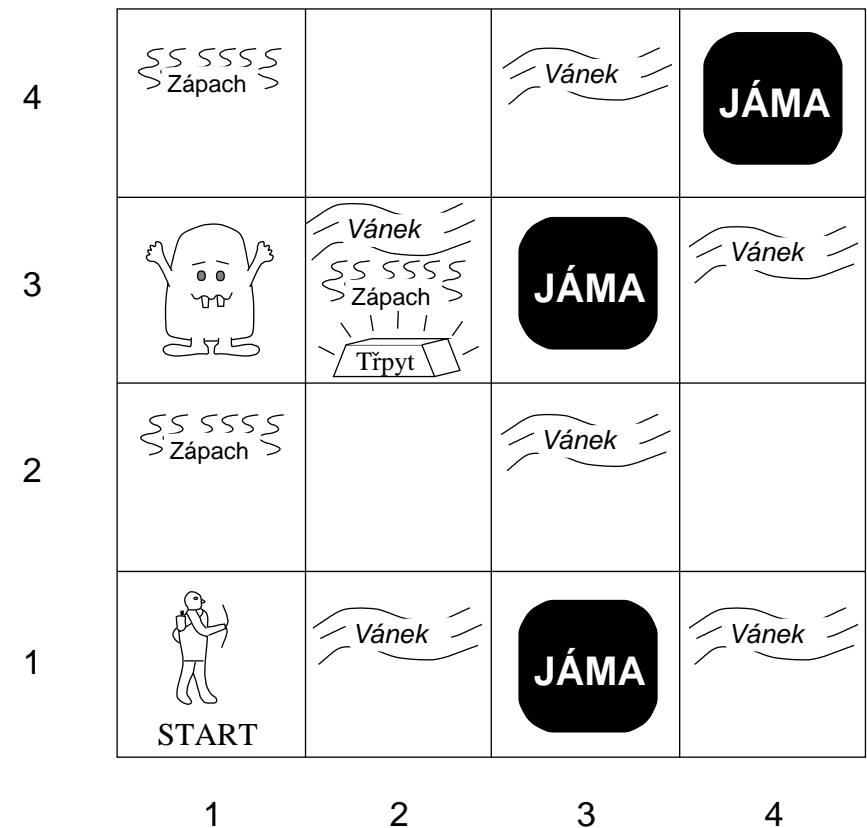
A – akční prvky

Otočení vlevo, Otočení vpravo, Krok dopředu,

Zvednutí, Položení, Výstřel

S – senzory

Vánek, Třpyt, Zápach, Náráz 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

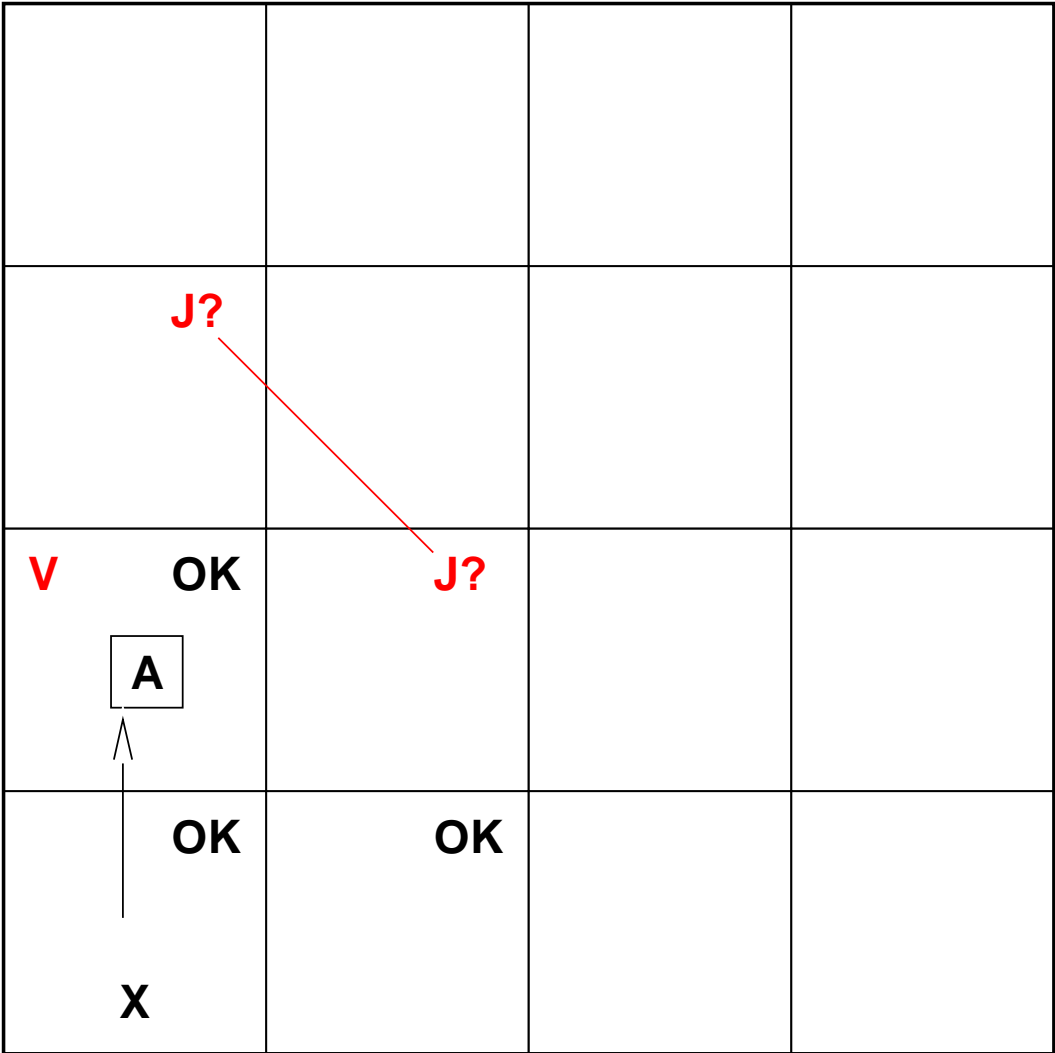
PRŮZKUM WUMPUSOVY JESKYNĚ

OK			
OK A	OK		

1

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

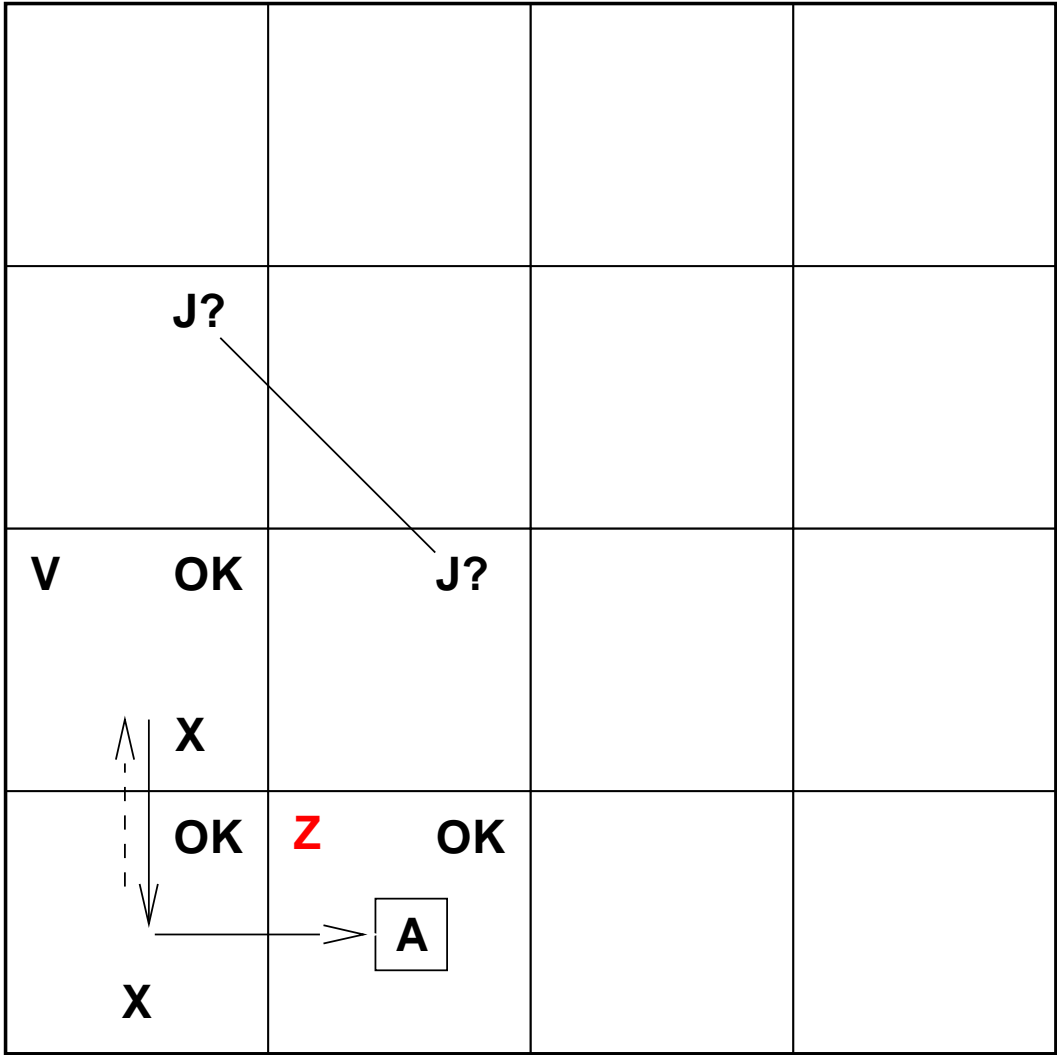
PRŮZKUM WUMPUSOVY JESKYNĚ



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

2

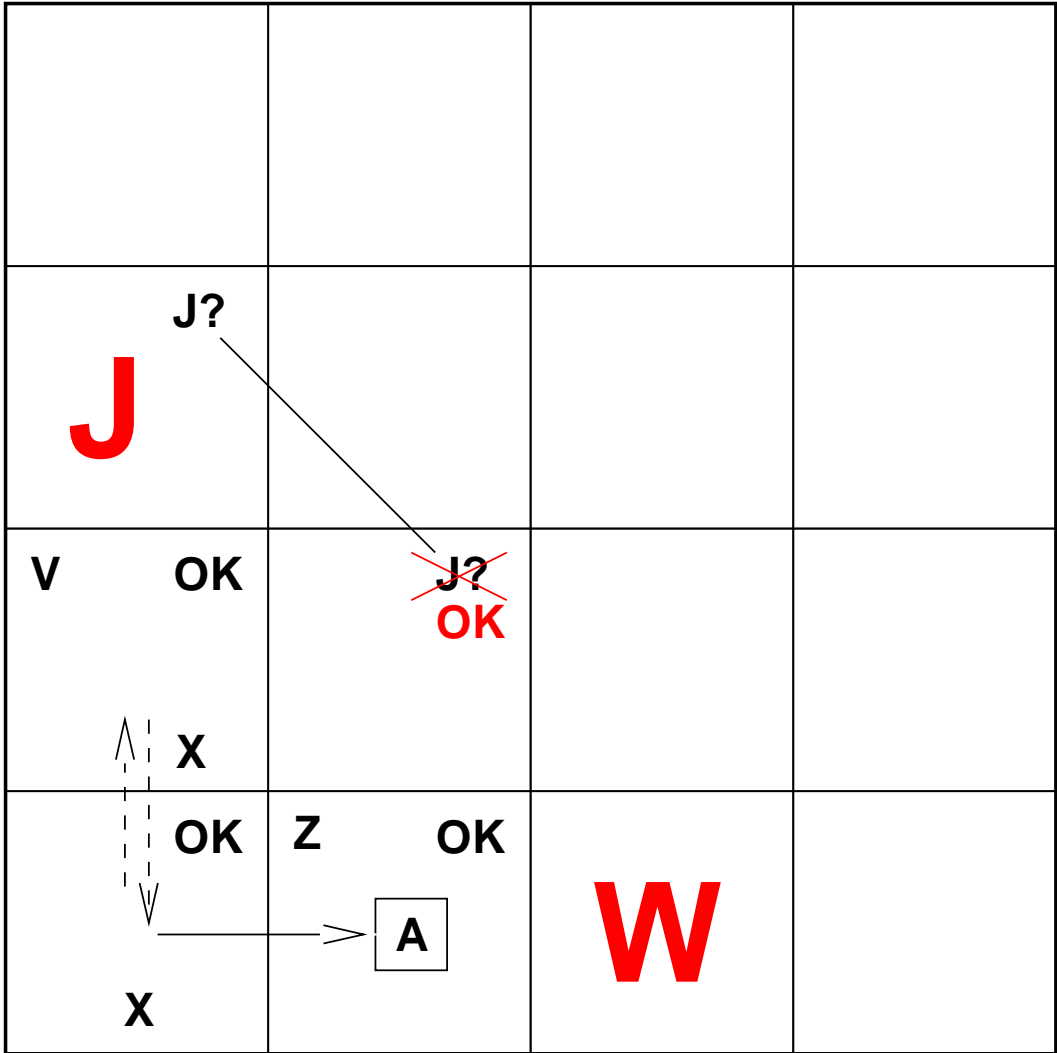
PRŮZKUM WUMPUSOVY JESKYNĚ



3

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

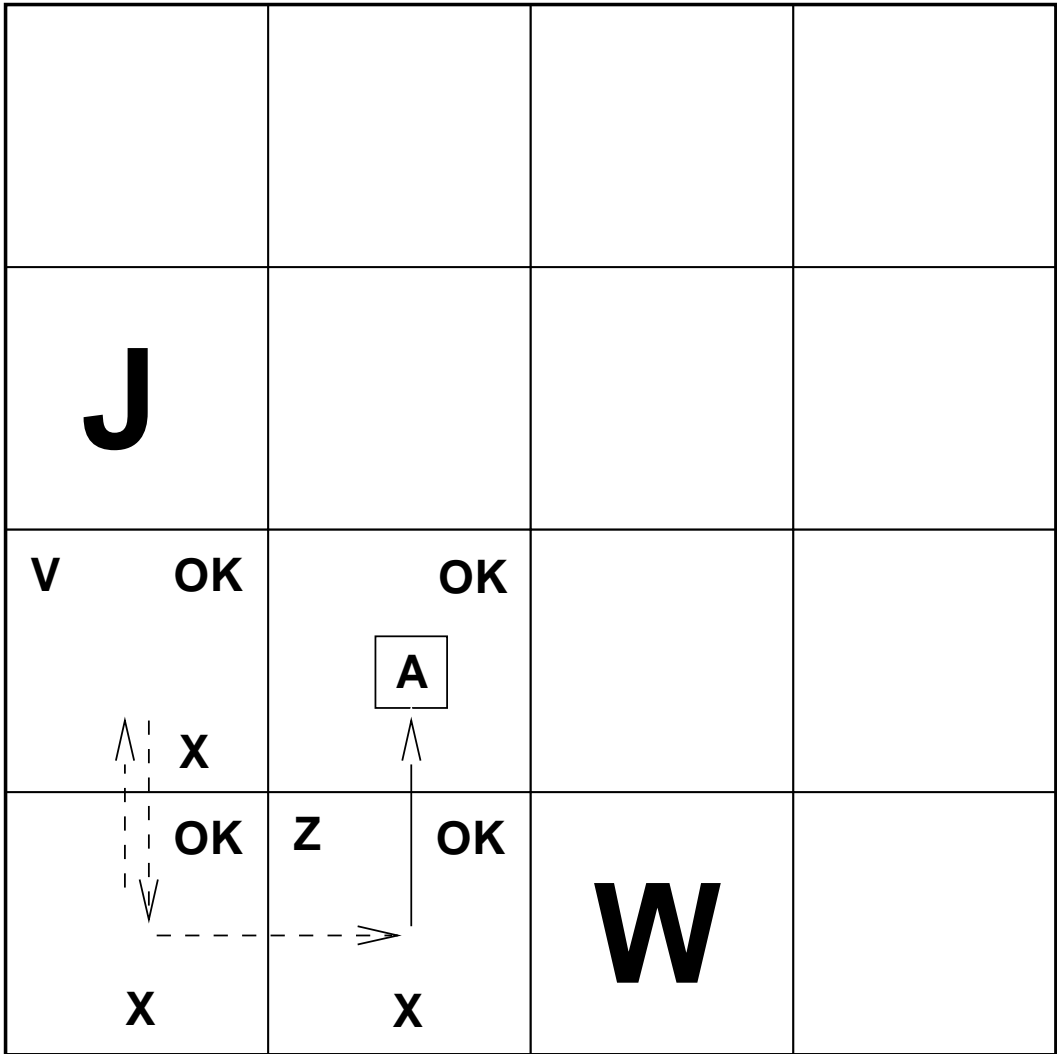
PRŮZKUM WUMPUSOVY JESKYNĚ



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

4

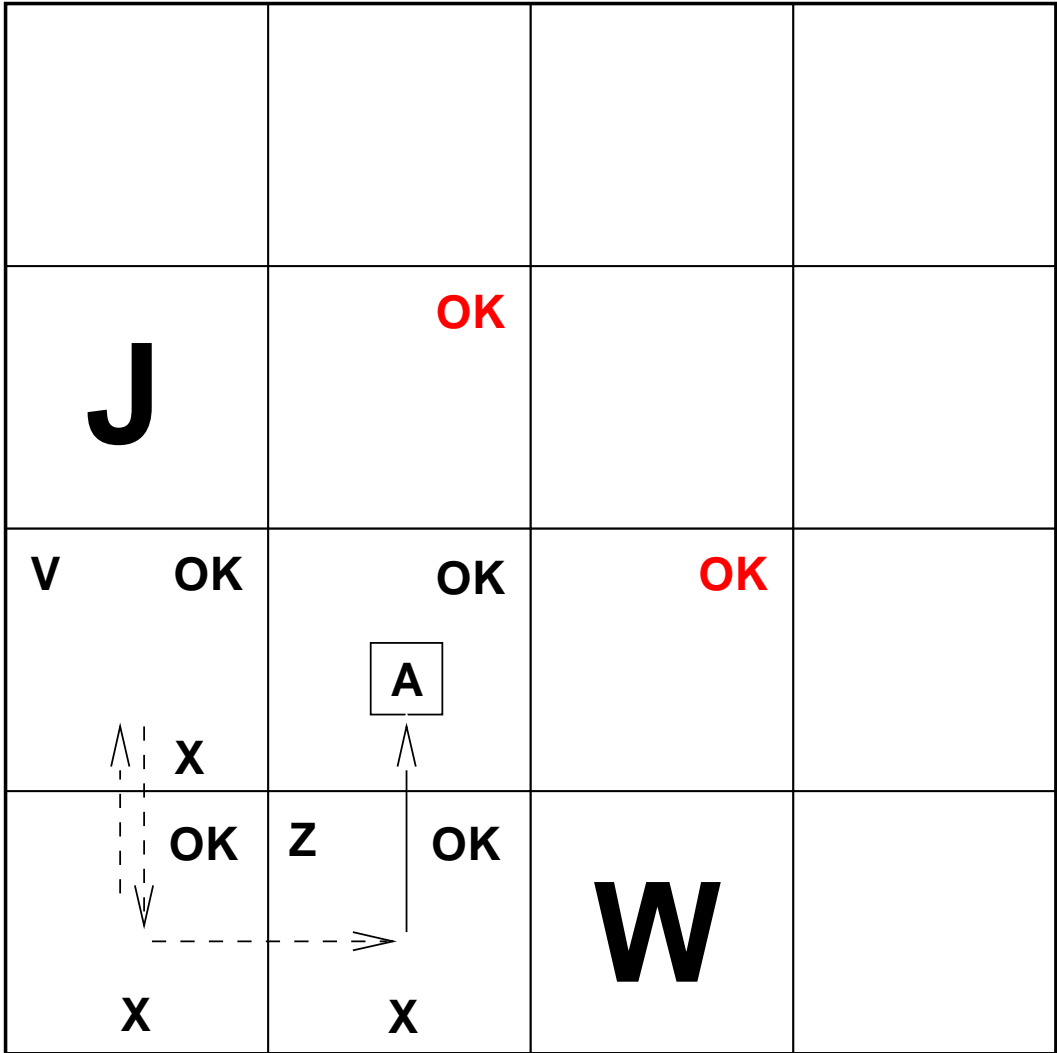
PRŮZKUM WUMPUSOVY JESKYNĚ



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

5

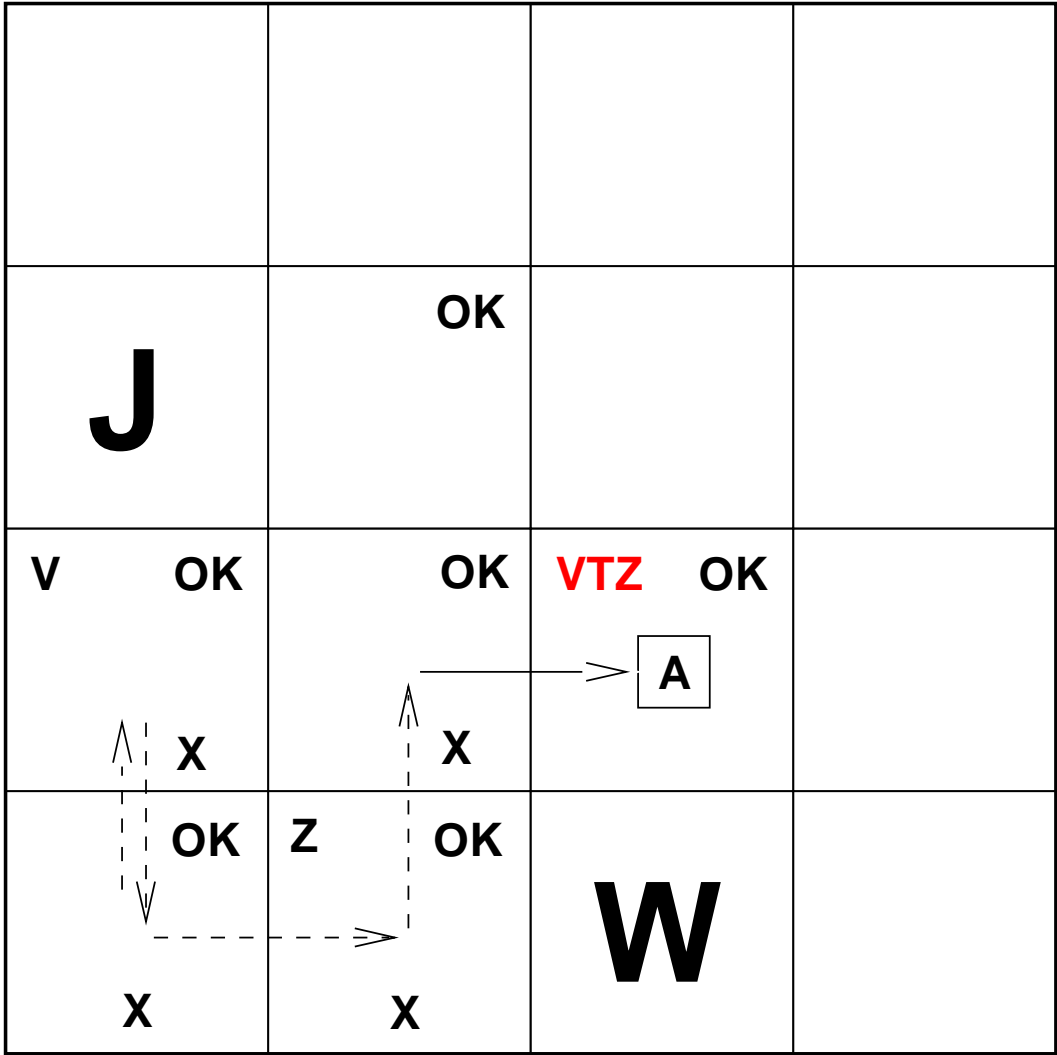
PRŮZKUM WUMPUSOVY JESKYNĚ



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

6

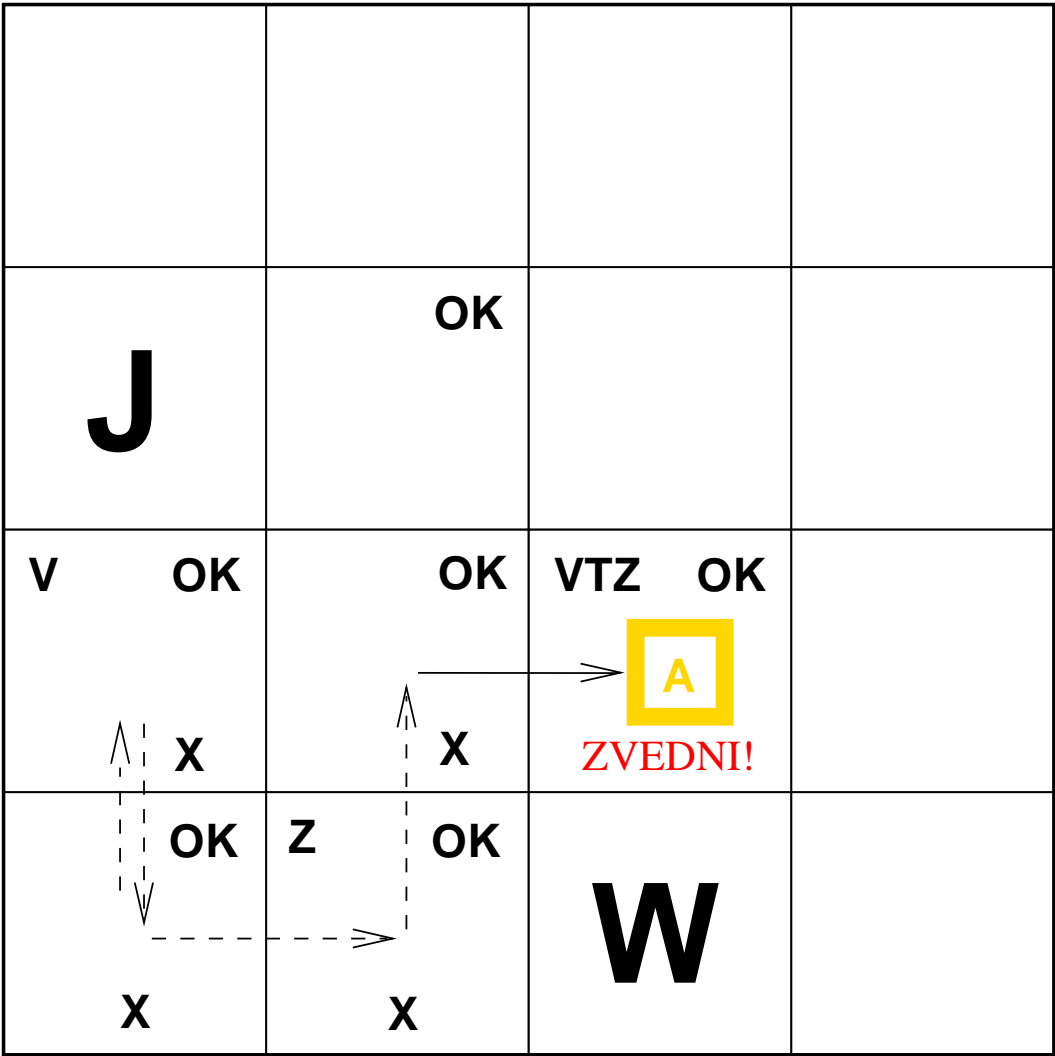
PRŮZKUM WUMPUSOVY JESKYNĚ



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

7

PRŮZKUM WUMPUSOVY JESKYNĚ



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

8

PRŮZKUM WUMPUSOVY JESKYNĚ – PROBLÉMY

základní vlastnost logického vyvozování:

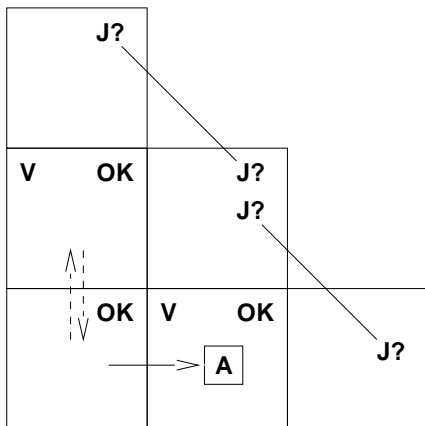
*Kdykoliv agent dospěje k **závěru** z daných informací \rightarrow tento závěr je **zaručeně** správný, pokud jsou správné dodané informace.*

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

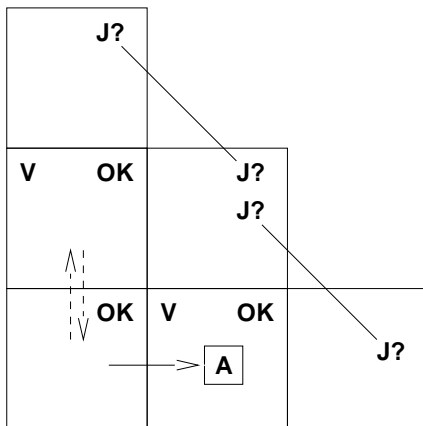
\rightarrow díra v $(2, 2)$ má pravděpodobnost 0.86, na krajích 0.31

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.*

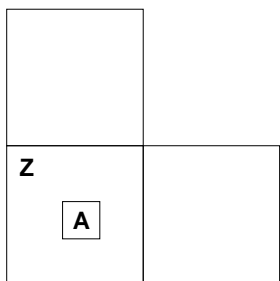
obtížné situace:



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

✓ ●	Logický agent	2
✓ ●	Wumpusova jeskyně	4
⇒ ●	Logika	10
●	Výroková logika	16
●	Důkazové metody	22

LOGIKA

Logika = *syntaxe* a *sémantika* formálního jazyka pro reprezentaci informací 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 informací 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:

LOGIKA

Logika = *syntaxe* a *sémantika* formálního jazyka pro reprezentaci informací 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:

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

LOGIKA

Logika = *syntaxe* a *sémantika* formálního jazyka pro reprezentaci informací 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:

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

$\rightarrow x + 2 \geq y$ je pravda \Leftrightarrow číslo $x + 2$ není menší než číslo y

LOGIKA

Logika = *syntaxe* a *sémantika* formálního jazyka pro reprezentaci informací 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:

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

LOGIKA

Logika = *syntaxe* a *sémantika* formálního jazyka pro reprezentaci informací 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:

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

LOGIKA

Logika = *syntaxe* a *sémantika* formálního jazyka pro reprezentaci informací 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:

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

$$KB \models \alpha$$

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

DŮSLEDEK

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

$$KB \models \alpha$$

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

např.:

→ KB obsahuje věty – “Češi vyhráli”

– “Slováci vyhráli”

z KB pak vyplývá – “Buď 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 $\alpha \iff \alpha$ je pravdivá ve *všech světech*, kde je KB pravdivá

např.:

→ KB obsahuje věty – “Češi vyhráli”

– “Slováci vyhráli”

z KB pak vyplývá – “Buď 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 $\alpha \iff \alpha$ je pravdivá ve *všech světech*, kde je KB pravdivá

např.:

→ KB obsahuje věty – “Češi vyhráli”

– “Slováci vyhráli”

z KB pak vyplývá – “Buď 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

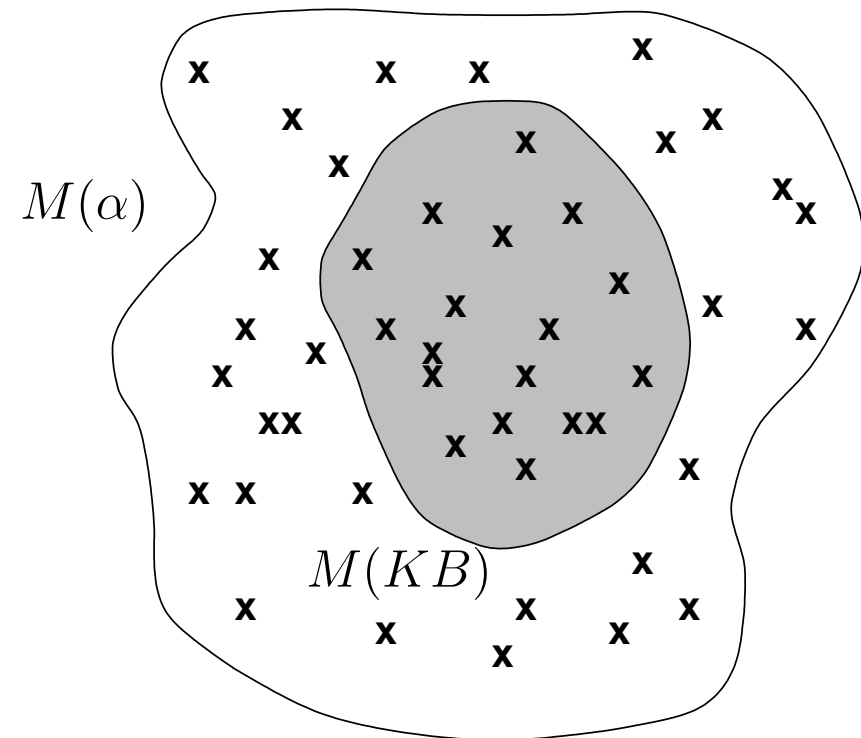
říkáme: m je model věty $\alpha \iff \alpha$ je pravdivá v m

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

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

např.: $KB =$ “Češi vyhráli” \wedge “Slováci vyhráli”

$\alpha =$ “Češi vyhráli”

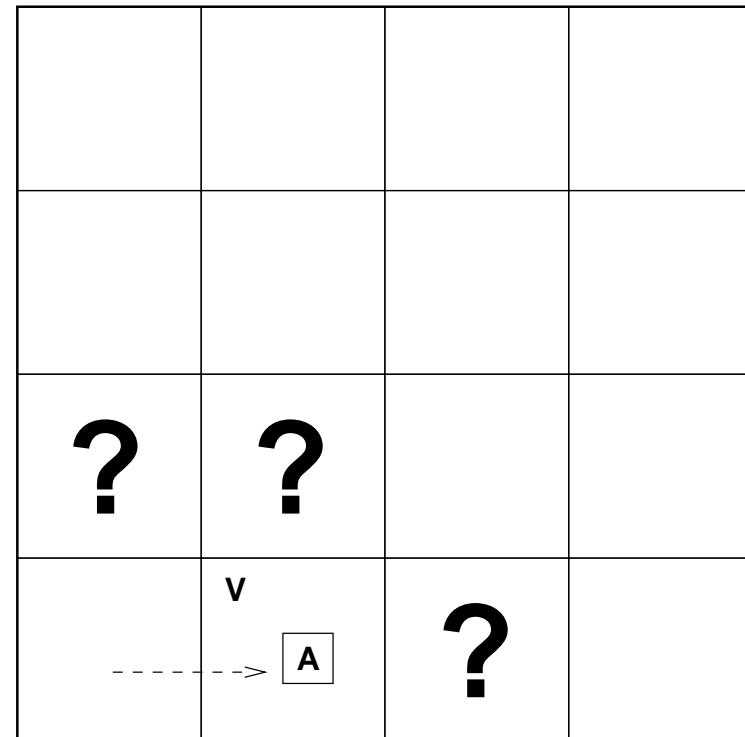


VYPLÝVÁNÍ VE WUMPUSOVĚ JESKYNI

situace:

- v $[1, 1]$ nedetekováno nic
- krok doprava, v $[2, 1]$ Vánek

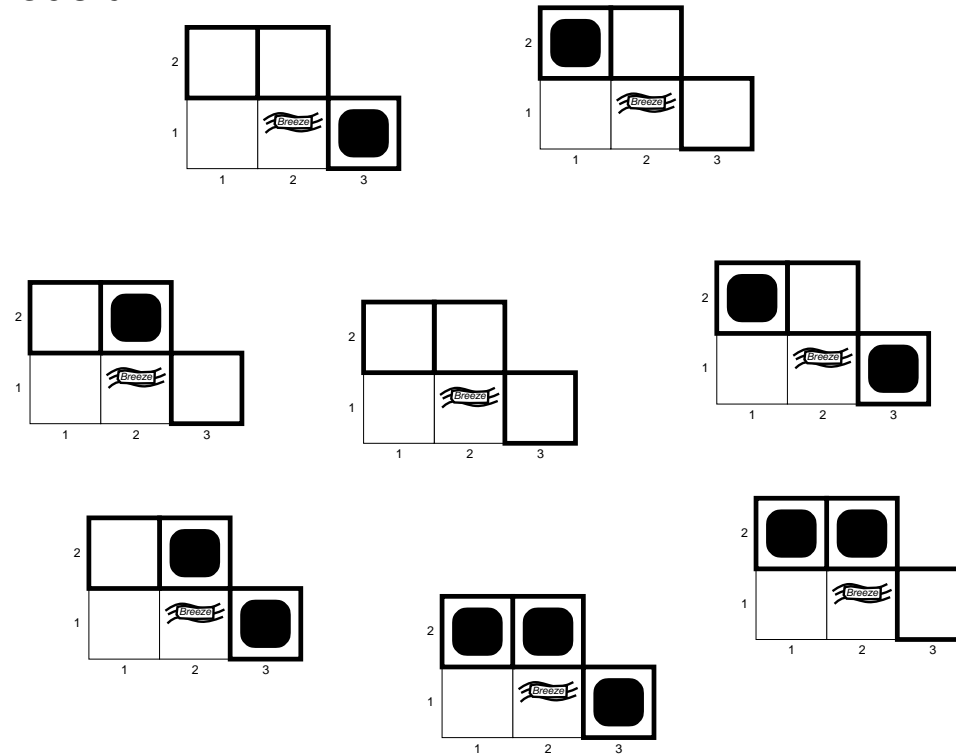
uvažujeme možné *modely* pro '?'
(budou nás zajímat jen Jámy)



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

MODELY VE WUMPUSOVĚ JESKYNI

uvažujeme všech 8 možných modelů:



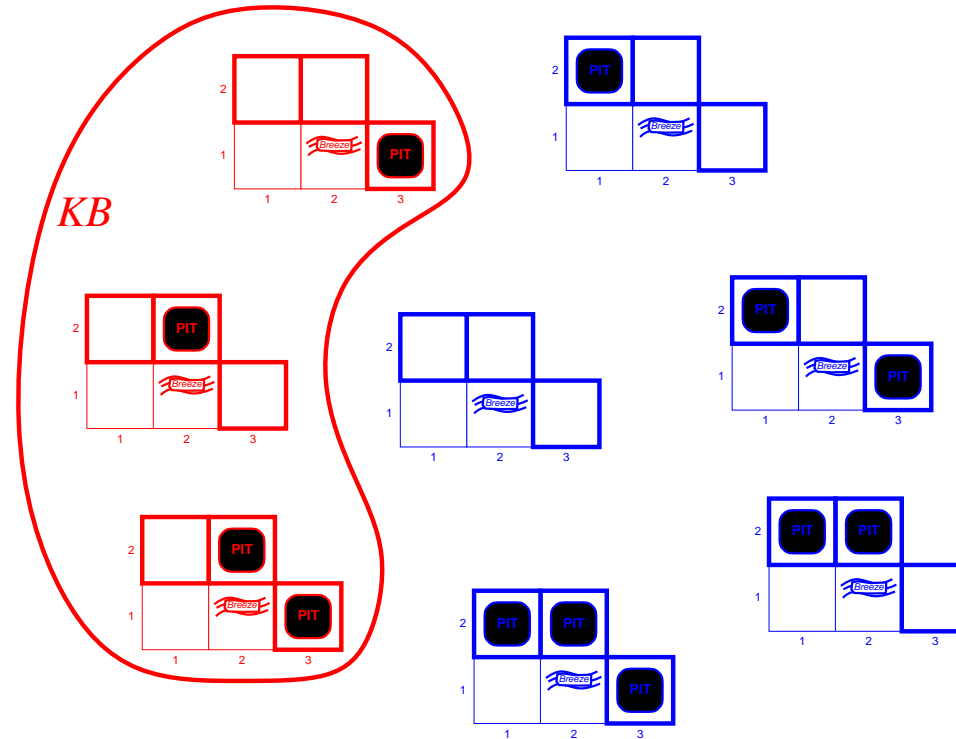
KB = pravidla Wumpusovy jeskyně + pozorování

α_1 = “[1, 2] je bezpečné pole”

α_2 = “[2, 2] je bezpečné pole”

MODELY VE WUMPUSOVĚ JESKYNI

uvažujeme všech 8 možných modelů:



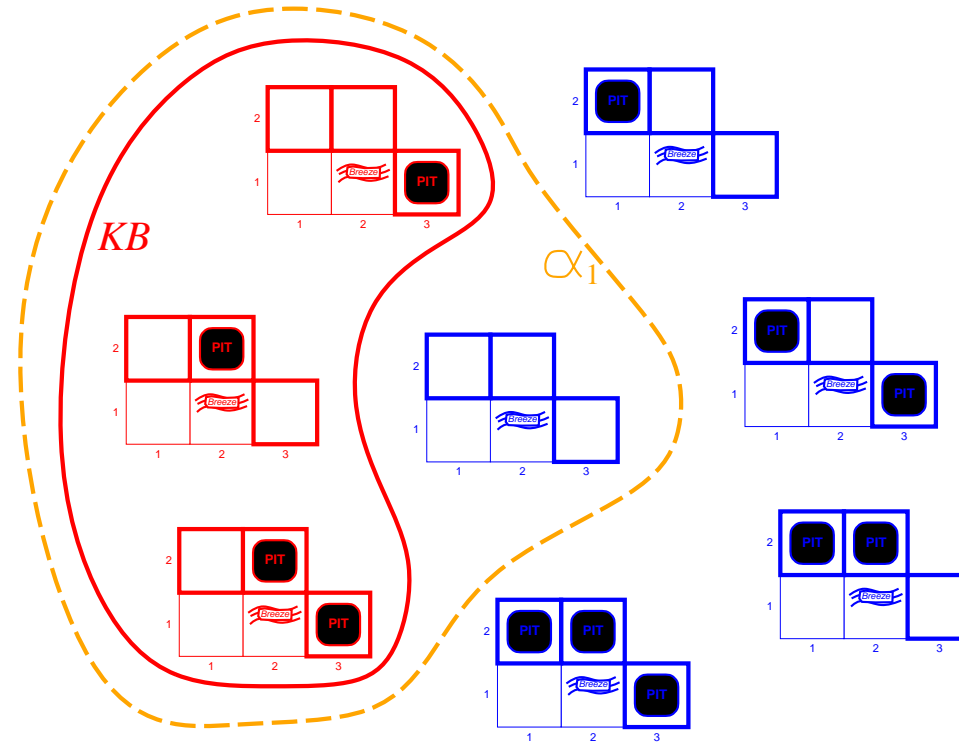
KB = pravidla Wumpusovy jeskyně + pozorování

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

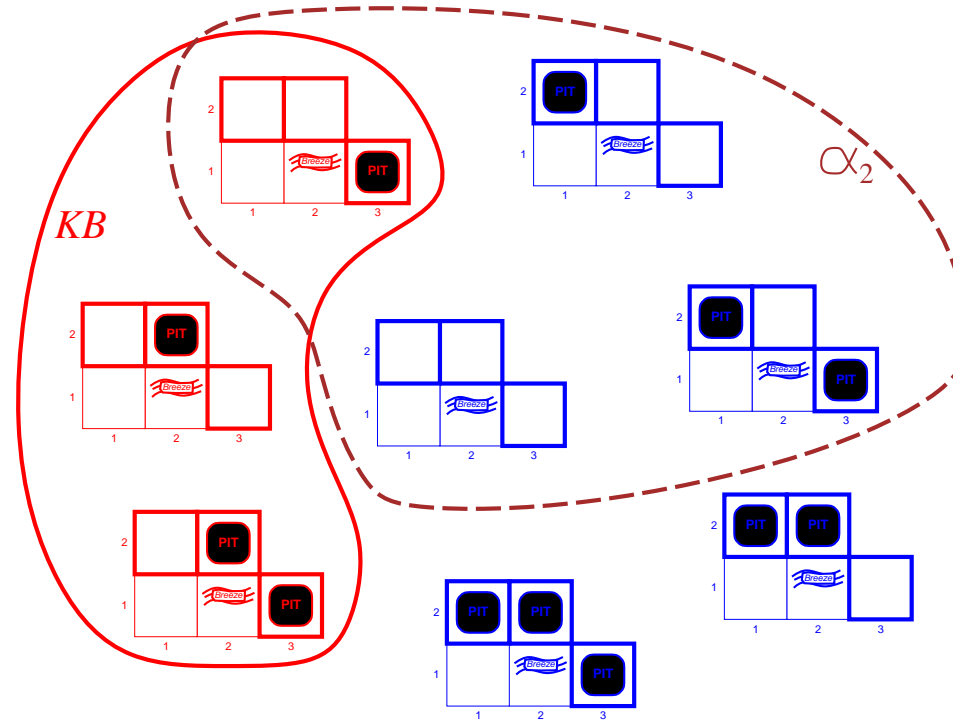
α_1 = “[1, 2] je bezpečné pole”

$KB \models \alpha_1$, dokážeme pomocí kontroly modelů (*model checking*)

α_2 = “[2, 2] je bezpečné pole”

MODELY VE WUMPUSOVĚ JESKYNI

uvažujeme všech 8 možných modelů:



KB = pravidla Wumpusovy jeskyně + pozorování

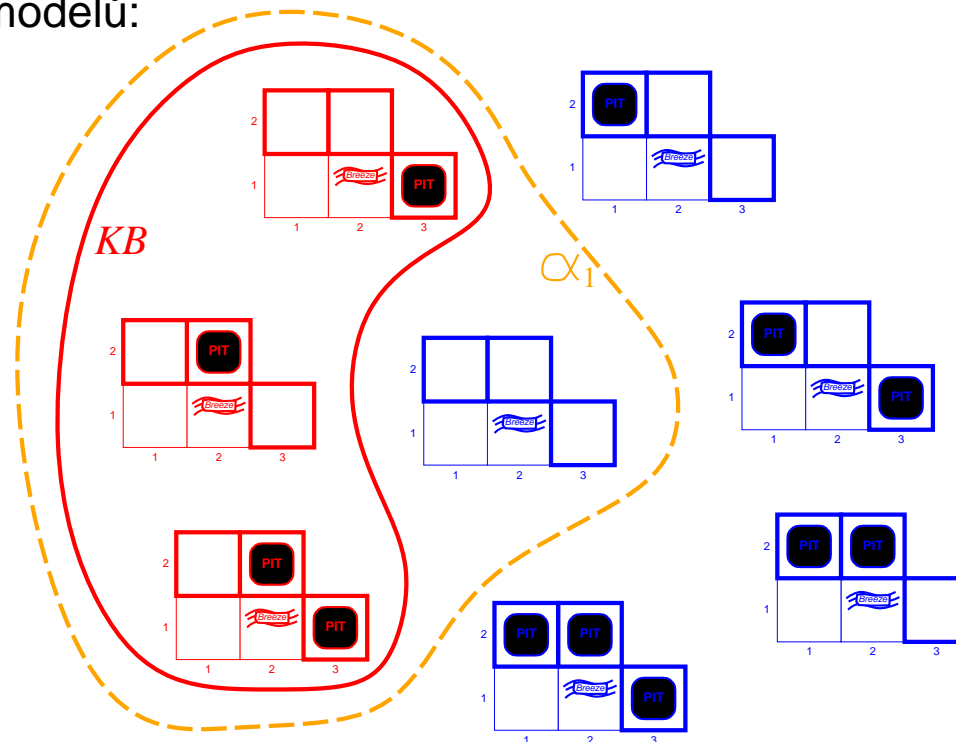
α_1 = “[1, 2] je bezpečné pole”

α_2 = “[2, 2] je bezpečné pole”

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

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**

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

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

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

Vztah k *reálnému světu*:

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

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

✓ ●	Logický agent	2
✓ ●	Wumpusova jeskyně	4
✓ ●	Logika	10
⇒ ●	Výroková logika	16
●	Důkazové metody	22

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

SÉMANTIKA VÝROKOVÉ LOGIKY

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

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

→ **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.: $m_1 = \{P_1 = false, P_2 = false, P_3 = true\}$

→ **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:

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

SÉMANTIKA VÝROKOVÉ LOGIKY

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

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

→ **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:

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

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 inferencí pomocí **věty o dedukci**:

$KB \models \alpha \Leftrightarrow (KB \Rightarrow \alpha)$ 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 inferencí pomocí **věty o dedukci**:

$KB \models \alpha \Leftrightarrow (KB \Rightarrow \alpha)$ 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

např.: $A \wedge \neg A$

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

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

TVRZENÍ PRO WUMPUSOVU JESKYNI

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

TVRZENÍ PRO WUMPUSOVU JESKYNI

Definujeme výrokové symboly $J_{i,j}$ je pravda \Leftrightarrow $V [i, j]$ je **Jáma**.
 a $V_{i,j}$ je pravda \Leftrightarrow $V [i, j]$ 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 Vánky ve vedlejších místnostech”

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

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

?	?		
	v -----> A	?	

TVRZENÍ PRO WUMPUSOVU JESKYNI

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

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

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

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

?	?		
	v -----> A	?	

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
<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>
<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>true</i>
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>
<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<u><i>true</i></u>	<u><i>true</i></u>
<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<u><i>true</i></u>	<u><i>true</i></u>
<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<u><i>true</i></u>	<u><i>true</i></u>
<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>

KB = pravidla Wumpusovy jeskyně + pozorování

α_1 = “[1, 2] je bezpečné pole”

✓ ●	Logický agent	2
✓ ●	Wumpusova jeskyně	4
✓ ●	Logika	10
✓ ●	Výroková logika	16
⇒ ●	Důkazové metody	22

DŮKAZOVÉ METODY

❑ kontrola modelů

- 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)

DŮKAZOVÉ METODY

❑ kontrola modelů

- 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 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,[]).

% 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):—!,fail.
tt_check_all (KB,Alpha,[P|Symbols],Model):—
    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

Hornovy klauzule: KB = konjunkce Hornových klauzulí

Hornova klauzule = $\left\{ \begin{array}{l} \text{výrokový symbol; nebo} \\ \text{(konjunkce symbolů)} \Rightarrow \text{symbol} \end{array} \right.$

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

DOPŘEDNÉ A ZPĚTNÉ ŘETĚZENÍ

Hornovy klauzule: 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

Hornovy klauzule: 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

inference 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 :

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

$$B \wedge L \Rightarrow M$$

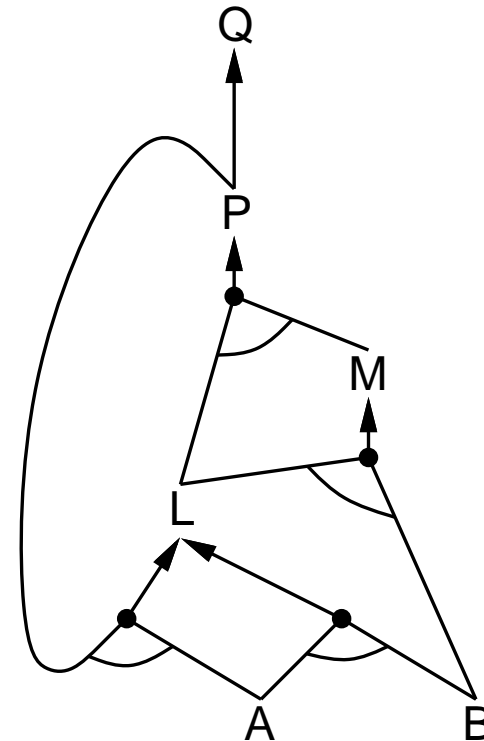
$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B

AND-OR graf KB :



DOPŘEDNÉ ŘETĚZENÍ – PŘÍKLAD

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

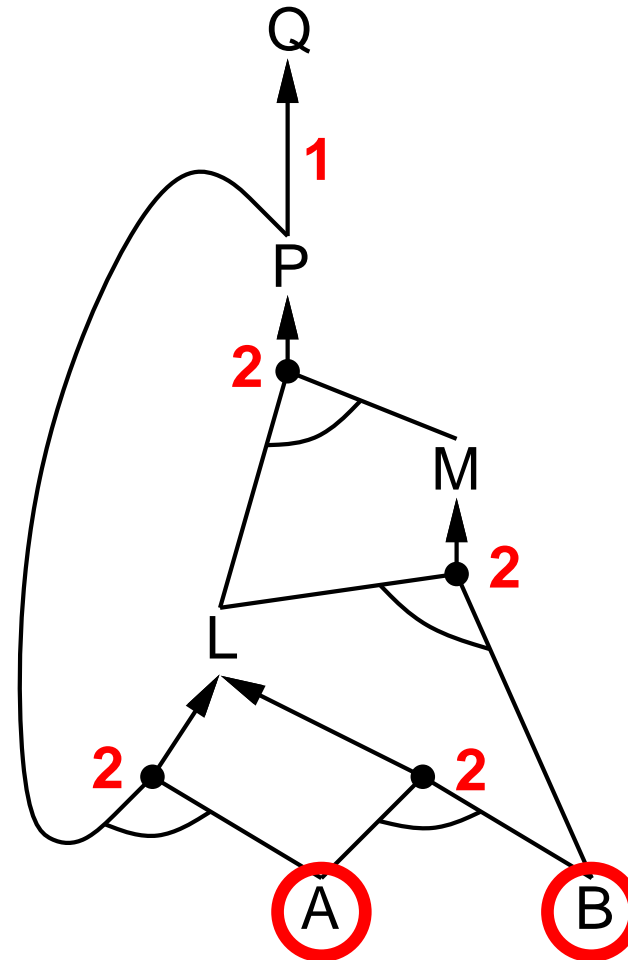
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



DOPŘEDNÉ ŘETĚZENÍ – PŘÍKLAD

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

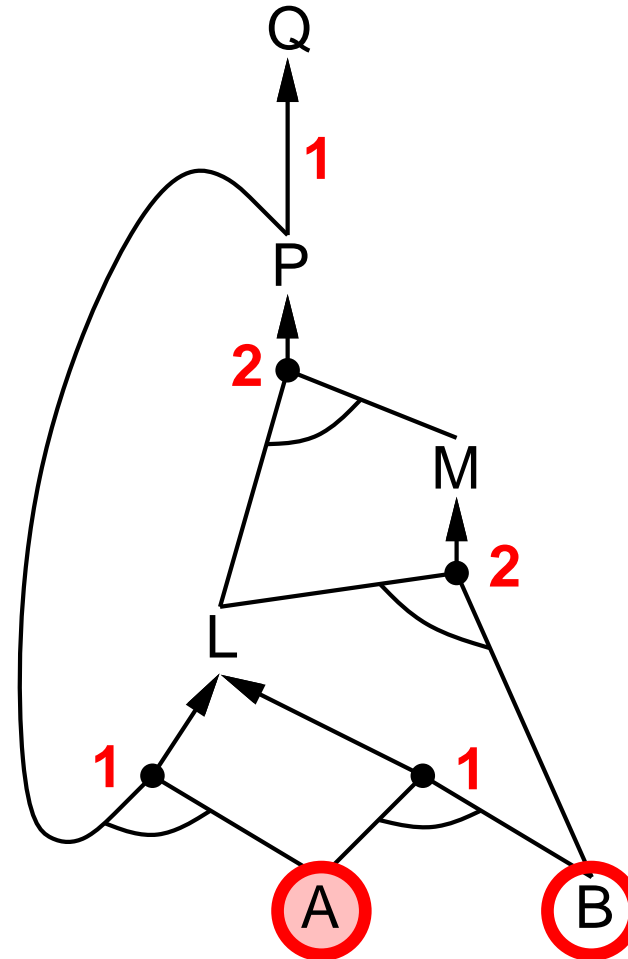
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



DOPŘEDNÉ ŘETĚZENÍ – PŘÍKLAD

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

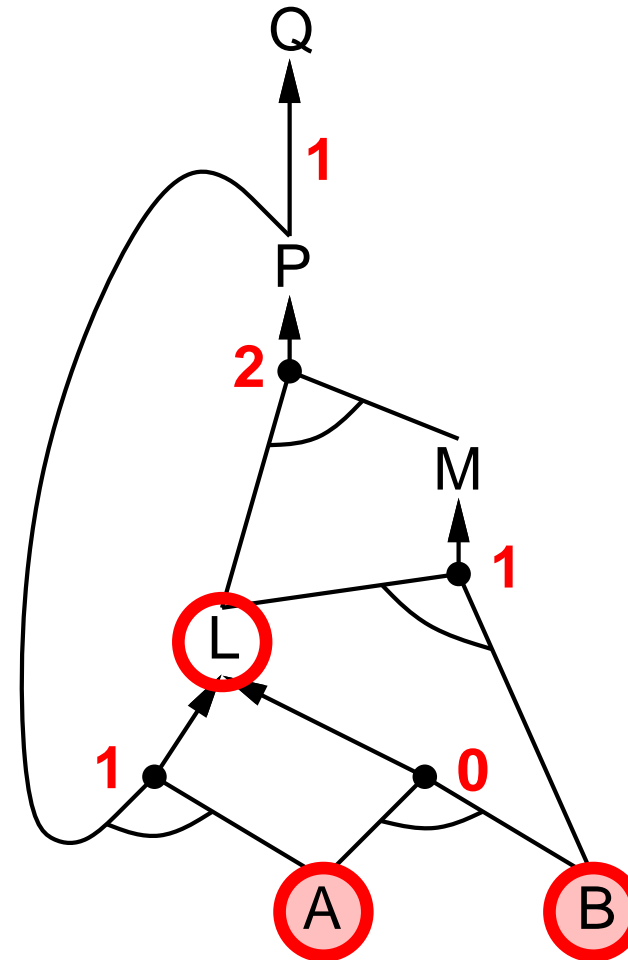
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



DOPŘEDNÉ ŘETĚZENÍ – PŘÍKLAD

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

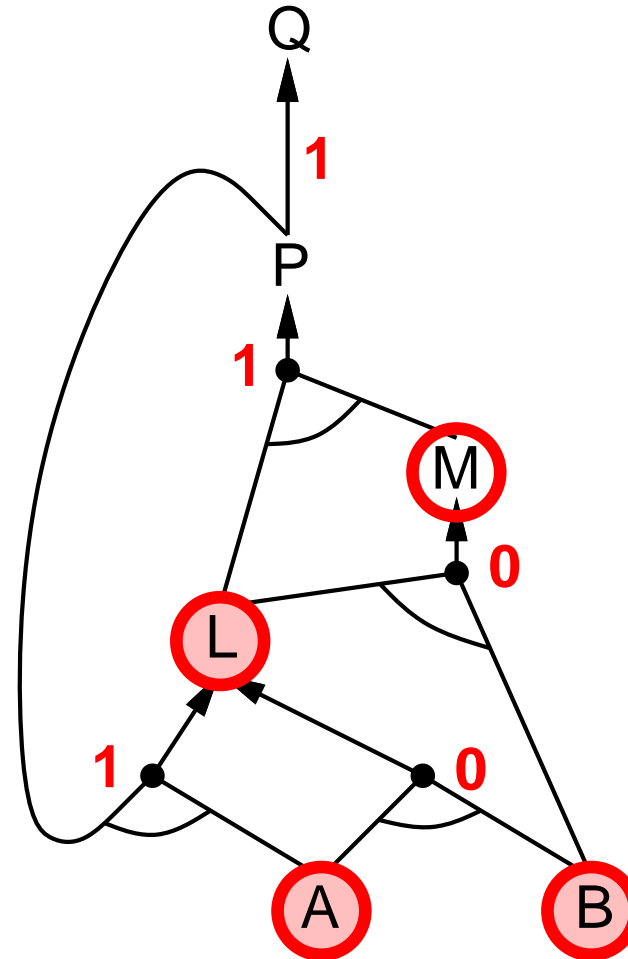
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



DOPŘEDNÉ ŘETĚZENÍ – PŘÍKLAD

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

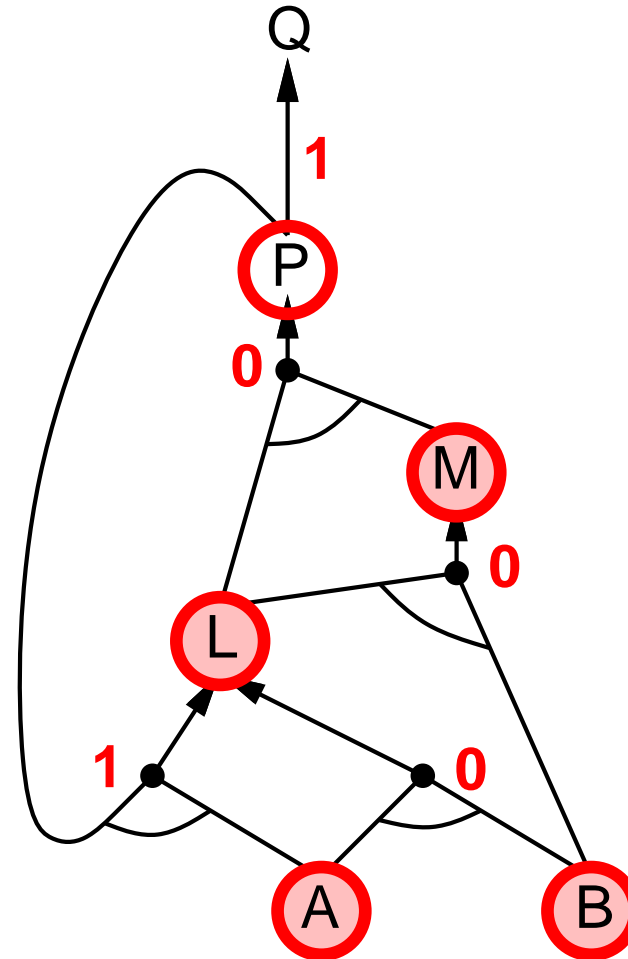
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



DOPŘEDNÉ ŘETĚZENÍ – PŘÍKLAD

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

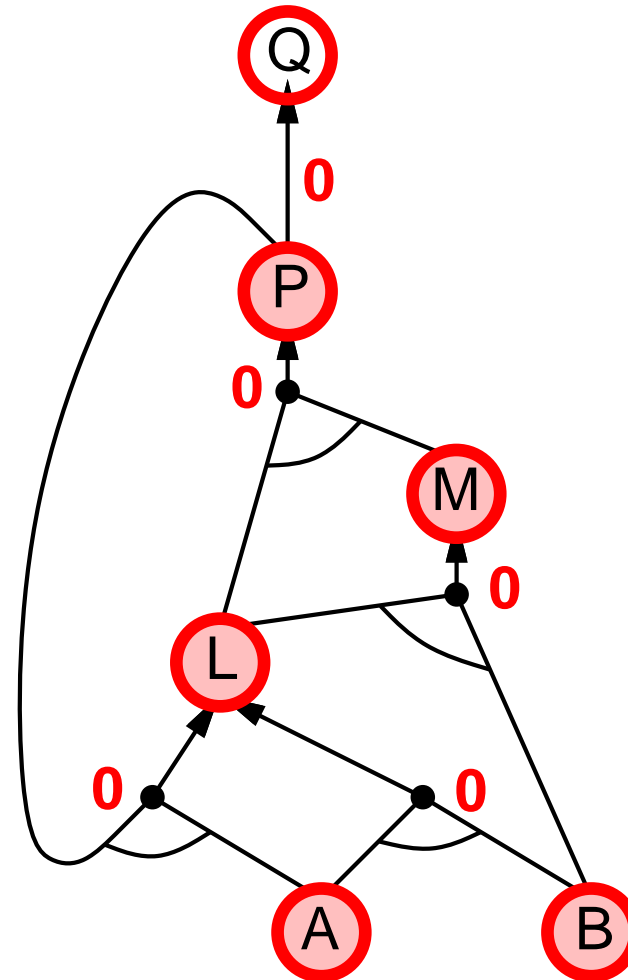
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



DOPŘEDNÉ ŘETĚZENÍ – PŘÍKLAD

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

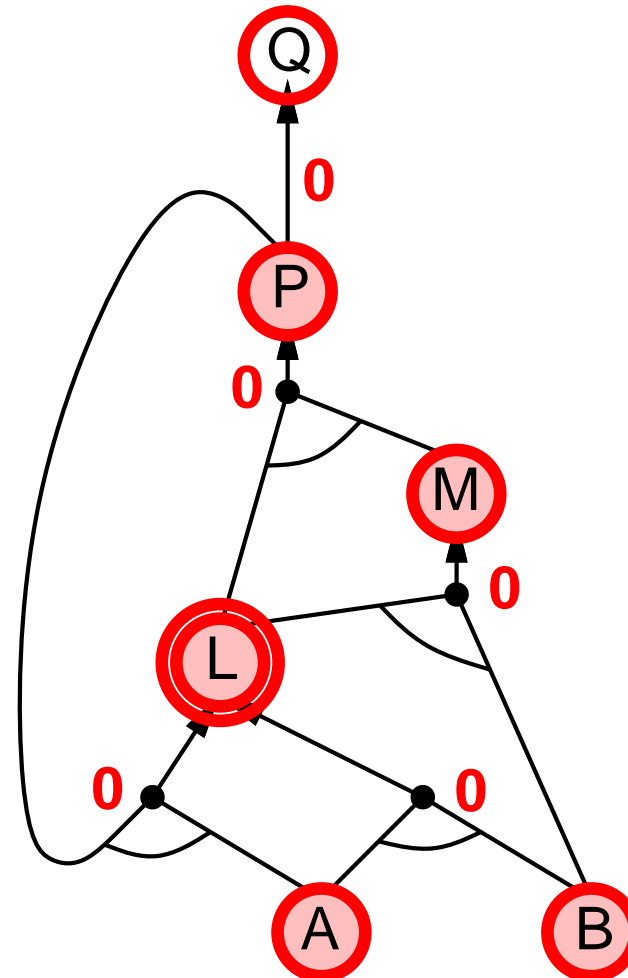
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



DOPŘEDNÉ ŘETĚZENÍ – PŘÍKLAD

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

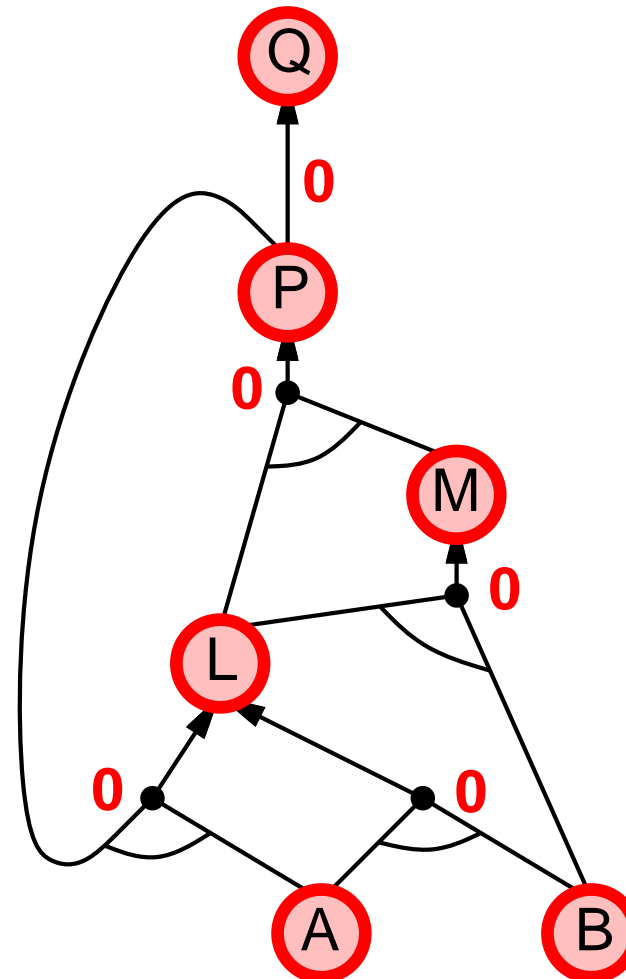
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

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), !,           % A new fact
          write( 'Derived:_' ), write( P), nl,
          assert( fact( P)),
          forward                             % Continue
          ;
          write( 'No more facts').           % All facts derived

new_derived_fact( Concl) :- if Cond then Concl, % A rule
                           not(fact( Concl)), % Rule's conclusion not yet a fact
                           composed_fact( Cond). % Condition true?

composed_fact( Cond) :- fact( Cond).          % Simple fact
composed_fact( Cond1 and Cond2) :- composed_fact( Cond1),
                                   composed_fact( Cond2). % Both conjuncts true
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

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

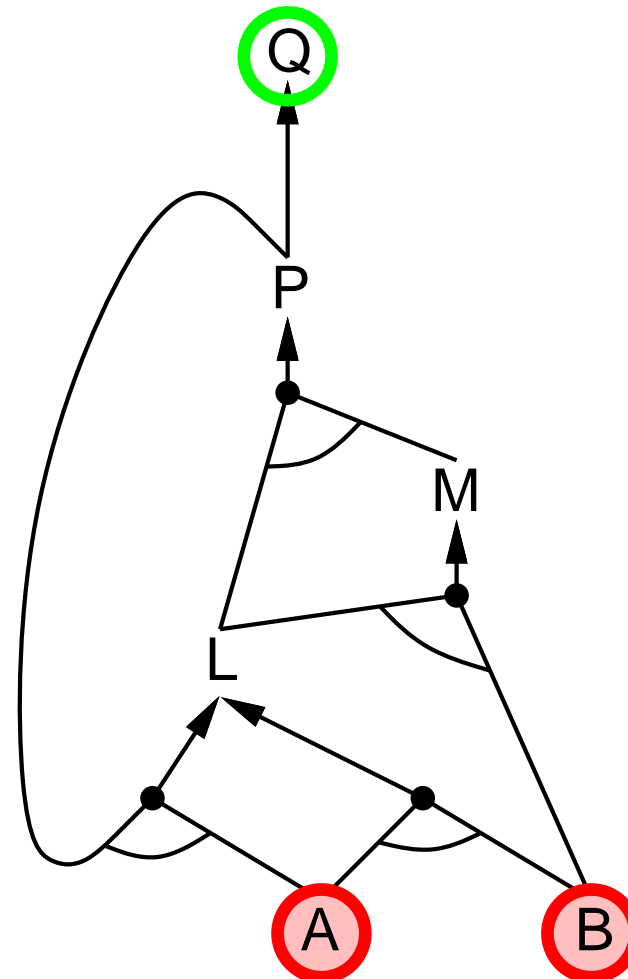
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



ZPĚTNÉ ŘETĚZENÍ – PŘÍKLAD

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

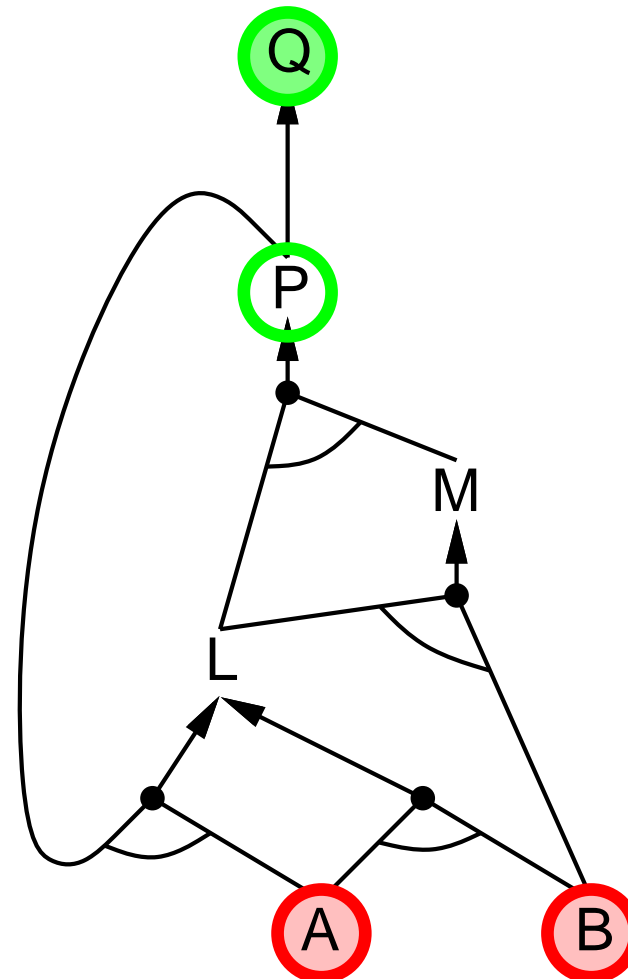
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



ZPĚTNÉ ŘETĚZENÍ – PŘÍKLAD

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

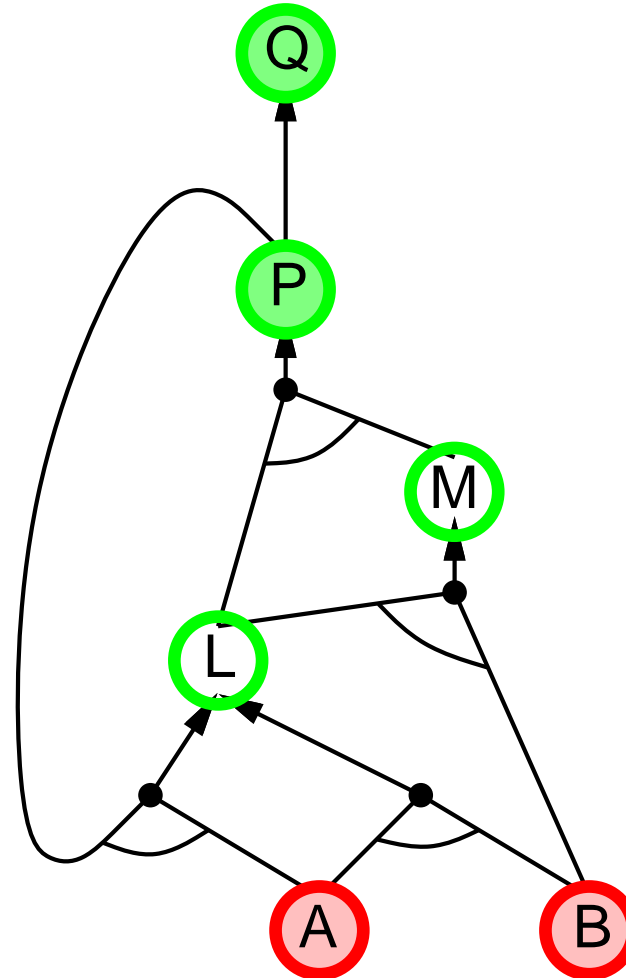
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



ZPĚTNÉ ŘETĚZENÍ – PŘÍKLAD

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

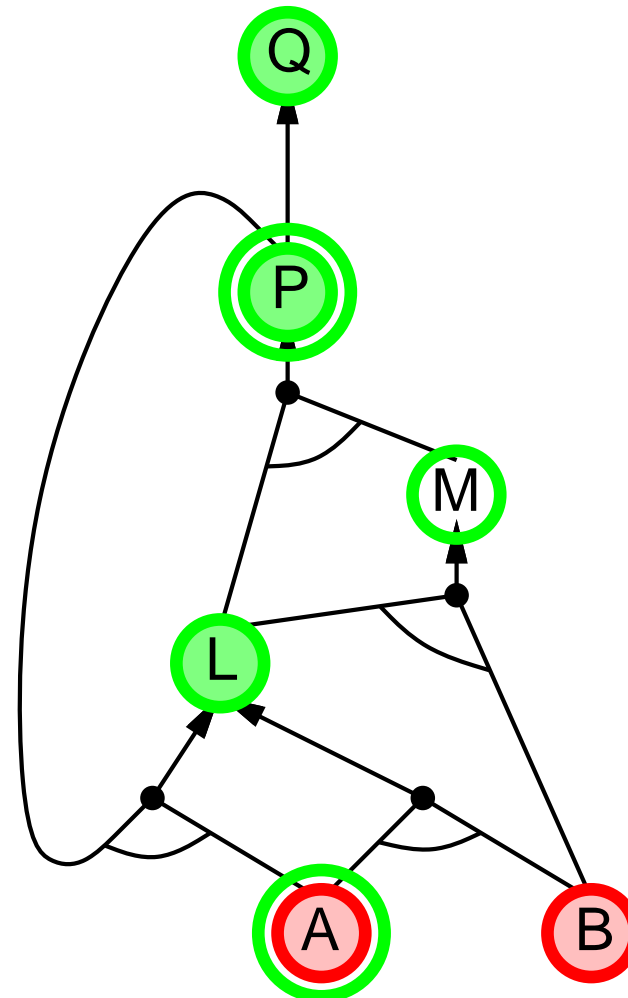
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



ZPĚTNÉ ŘETĚZENÍ – PŘÍKLAD

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

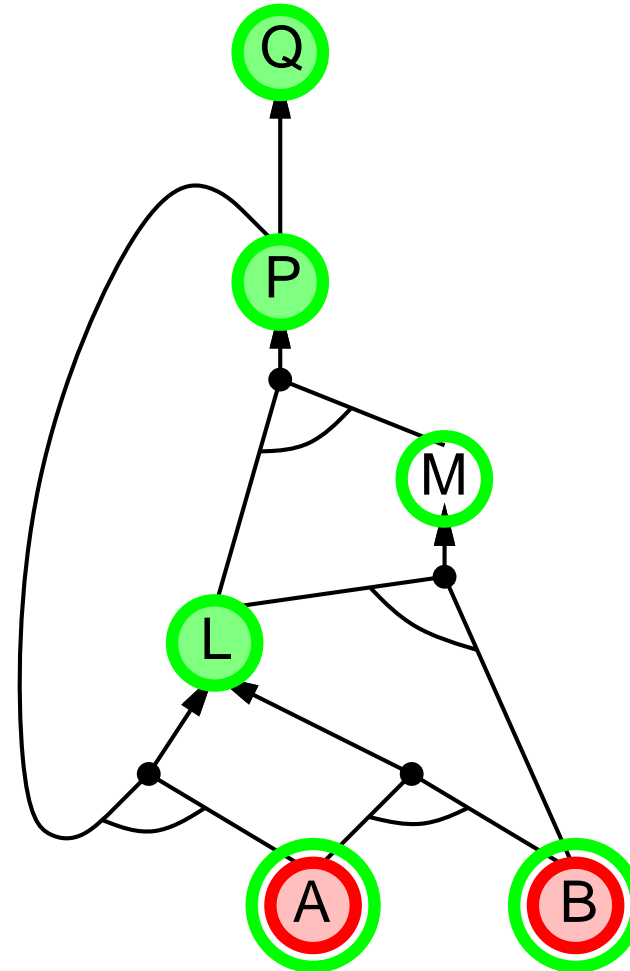
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



ZPĚTNÉ ŘETĚZENÍ – PŘÍKLAD

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

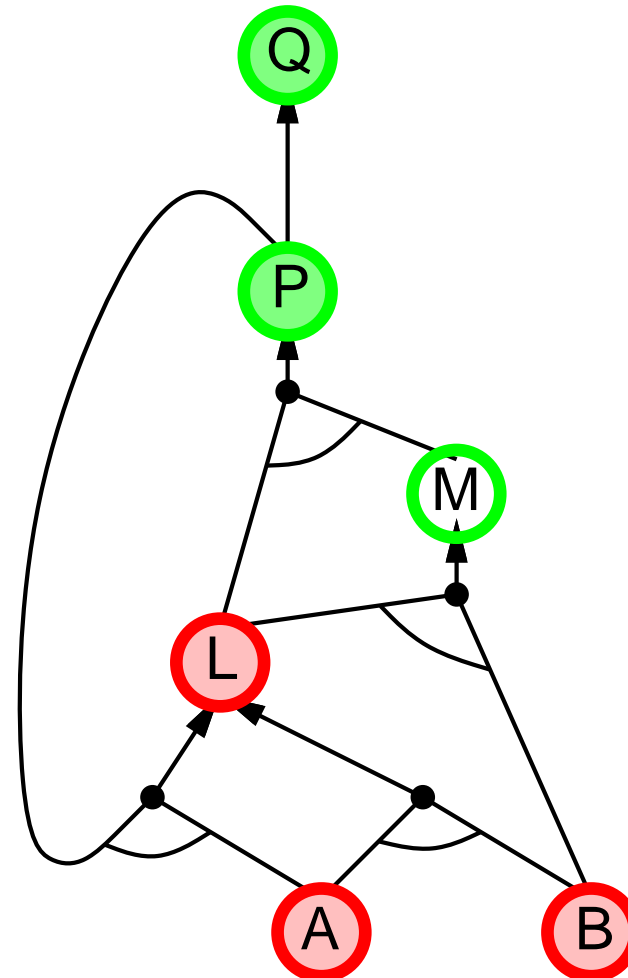
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



ZPĚTNÉ ŘETĚZENÍ – PŘÍKLAD

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

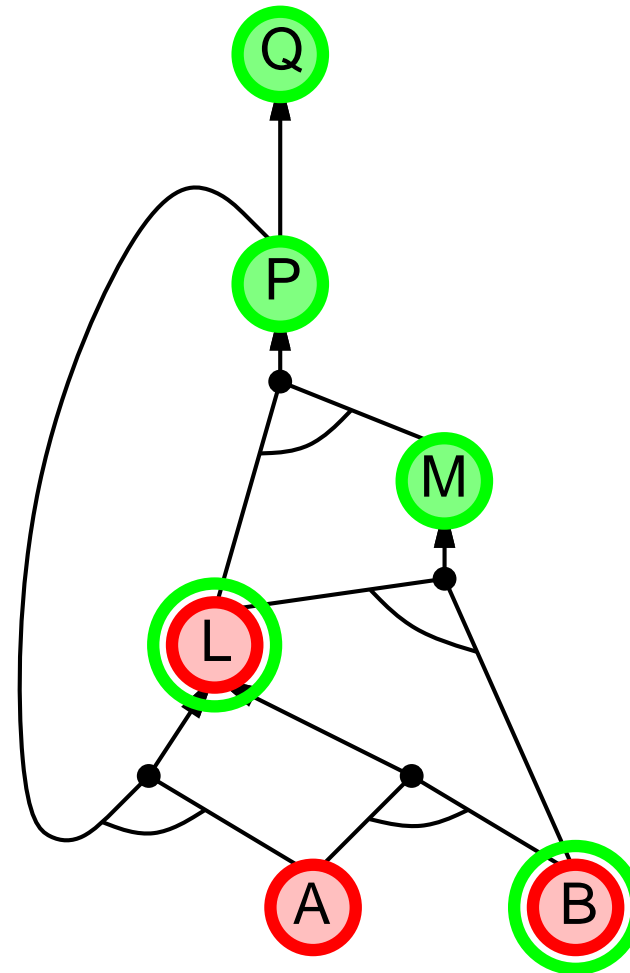
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



ZPĚTNÉ ŘETĚZENÍ – PŘÍKLAD

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

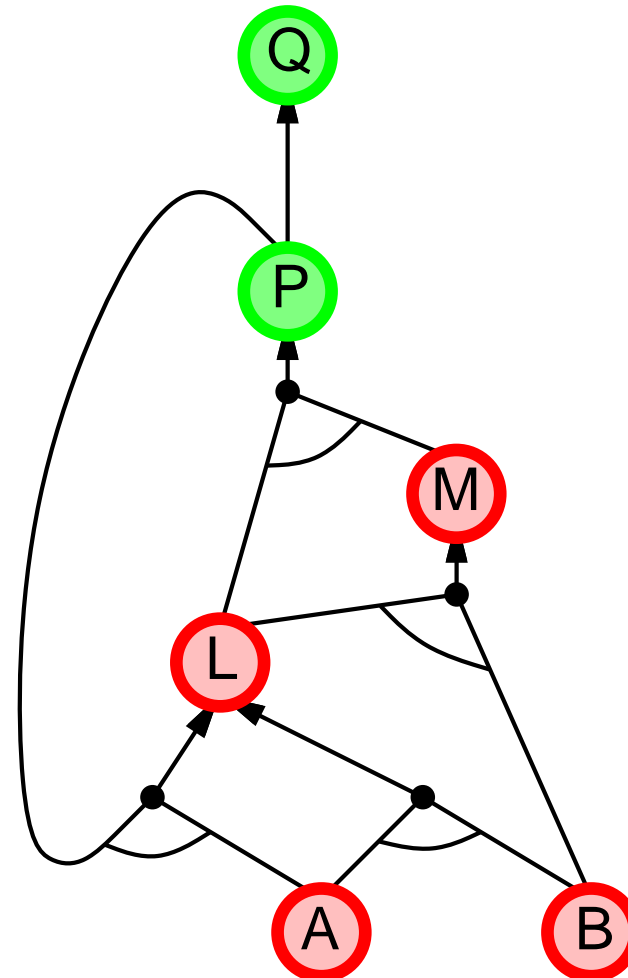
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



ZPĚTNÉ ŘETĚZENÍ – PŘÍKLAD

$$P \Rightarrow Q$$

$$L \wedge M \Rightarrow P$$

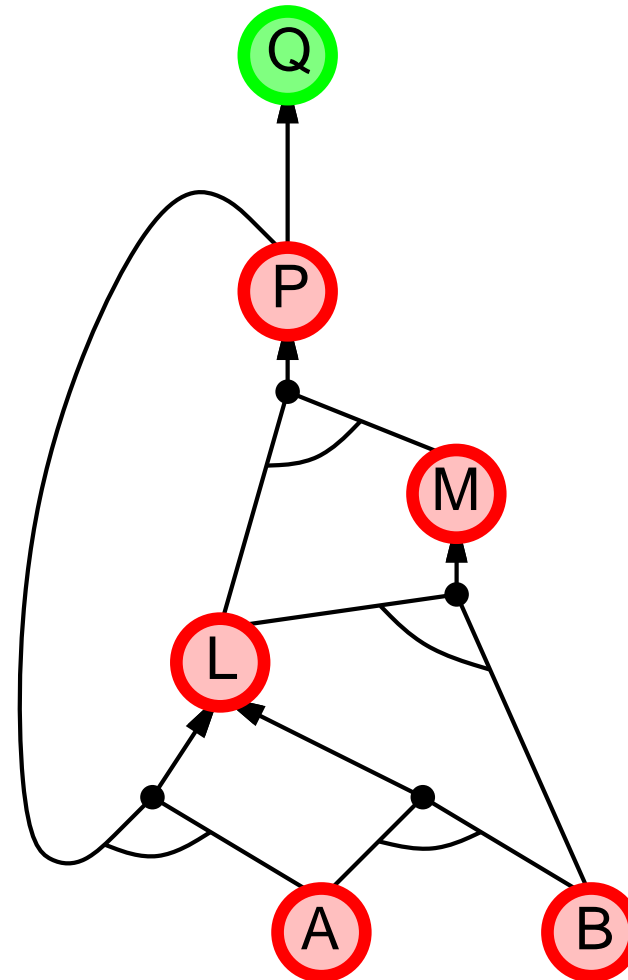
$$B \wedge L \Rightarrow M$$

$$A \wedge P \Rightarrow L$$

$$A \wedge B \Rightarrow L$$

A

B



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)

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