

# LOGICA EN SYMBOLISCHE ROBOTICA

## COLLEGE 1

# Logica en Symbolische Robotica

Joost J. Joosten  
Plantage Muidergracht 24  
1018 TV Amsterdam  
Kamer: P-3.28  
Telefoon: 020-5255361  
<http://www.phil.uu.nl/~jjoosten>  
Informatie via Blackboard

In den beginne ...

## In den beginne ...

◇ Ἐν ἀρχῇ, ἦν ὁ λόγος, καὶ ὁ λόγος ἦν πρὸς τὸν θεόν, καὶ θεὸς ἦν ὁ λόγος.

## In den beginne ...

◇ Ἐν ἀρχῇ, ἦν ὁ λόγος, καὶ ὁ λόγος ἦν πρὸς τὸν θεόν, καὶ θεὸς ἦν ὁ λόγος.

◇ In het begin was het Woord, het Woord was bij God en het Woord was God.

## In den beginne ...

- ◇ Ἐν ἀρχῇ, ἦν ὁ λόγος, καὶ ὁ λόγος ἦν πρὸς τὸν θεόν, καὶ θεὸς ἦν ὁ λόγος.
- ◇ In het begin was het Woord, het Woord was bij God en het Woord was God.
- ◇ **Het Evangelie volgens Johannes**, Nieuwe Bijbel Vertaling

## In den beginne ...

- ◇ Ἐν ἀρχῇ, ἦν ὁ λόγος, καὶ ὁ λόγος ἦν πρὸς τὸν θεόν, καὶ θεὸς ἦν ὁ λόγος.
- ◇ In het begin was het Woord, het Woord was bij God en het Woord was God.
- ◇ **Het Evangelie volgens Johannes**, Nieuwe Bijbel Vertaling
- ◇ “Logos” wordt hier vertaald als “Woord”.

## In den beginne ...

- ◇ Ἐν ἀρχῇ, ἦν ὁ λόγος, καὶ ὁ λόγος ἦν πρὸς τὸν θεόν, καὶ θεὸς ἦν ὁ λόγος.
- ◇ In het begin was het Woord, het Woord was bij God en het Woord was God.
- ◇ **Het Evangelie volgens Johannes**, Nieuwe Bijbel Vertaling
- ◇ “Logos” wordt hier vertaald als “Woord”.
- ◇ “Logos” kan ook op vele andere manieren worden vertaald.

# Logos en Logica

Enkele betekenissen van “Logos”:

◇ **Getal** via légo: oplezen, meetellen

# Logos en Logica

Enkele betekenissen van “Logos”:

- ◇ **Getal** via légo: oplezen, meetellen
- ◇ **Waardering**

# Logos en Logica

Enkele betekenissen van “Logos”:

- ◇ **Getal** via légo: oplezen, meetellen
- ◇ **Waardering**
- ◇ **Achting**

# Logos en Logica

Enkele betekenissen van “Logos”:

- ◇ **Getal** via légo: oplezen, meetellen
- ◇ **Waardering**
- ◇ **Achting**
- ◇ **Gesproken Woord**

# Logos en Logica

Enkele betekenissen van “Logos”:

- ◇ **Getal** via légo: oplezen, meetellen
- ◇ **Waardering**
- ◇ **Achting**
- ◇ **Gesproken Woord**
- ◇ **Woord** als gedachte-uiting

# Logos en Logica

Enkele betekenissen van “Logos”:

- ◇ **Getal** via légo: oplezen, meetellen
- ◇ **Waardering**
- ◇ **Achting**
- ◇ **Gesproken Woord**
- ◇ **Woord** als gedachte-uiting
- ◇ **Gerucht**

# Logos en Logica

Enkele betekenissen van “Logos”:

- ◇ **Getal** via légo: oplezen, meetellen
- ◇ **Waardering**
- ◇ **Achting**
- ◇ **Gesproken Woord**
- ◇ **Woord** als gedachte-uiting
- ◇ **Gerucht**
- ◇ **Gedachte-inhoud**

# Logos en Logica

Enkele betekenissen van “Logos”:

- ◇ **Getal** via légo: oplezen, meetellen
- ◇ **Waardering**
- ◇ **Achting**
- ◇ **Gesproken Woord**
- ◇ **Woord** als gedachte-uiting
- ◇ **Gerucht**
- ◇ **Gedachte-inhoud**
- ◇ **De Geest**

# Logos en Logica

Enkele betekenissen van “Logos”:

- ◇ **Getal** via légo: oplezen, meetellen
- ◇ **Waardering**
- ◇ **Achting**
- ◇ **Gesproken Woord**
- ◇ **Woord** als gedachte-uiting
- ◇ **Gerucht**
- ◇ **Gedachte-inhoud**
- ◇ **De Geest**
- ◇ **Rede**

# Robotica

◇ Robot.

# Robotica

◇ **Robot**. Komt uit het Tsjechisch uit een toneelstuk van de Tsjechische schrijver Karel Capek in 1920. Hij gebruikt het woord voor kunstmatige arbeiders. In 1931 duikt het in het Nederlands op. (Работа (rabota) Работать (rabotat'))

# Robotica

- ◇ **Robot**. Komt uit het Tsjechisch uit een toneelstuk van de Tsjechische schrijver Karel Capek in 1920. Hij gebruikt het woord voor kunstmatige arbeiders. In 1931 duikt het in het Nederlands op.
- ◇ Kramers:

# Robotica

- ◇ **Robot**. Komt uit het Tsjechisch uit een toneelstuk van de Tsjechische schrijver Karel Capek in 1920. Hij gebruikt het woord voor kunstmatige arbeiders. In 1931 duikt het in het Nederlands op.
- ◇ Kramers: Mechanisme, min of meer in de gedaante van een mens, dat menselijke bewegingen kan maken.

# Robotica

- ◇ **Robot**. Komt uit het Tsjechisch uit een toneelstuk van de Tsjechische schrijver Karel Capek in 1920. Hij gebruikt het woord voor kunstmatige arbeiders. In 1931 duikt het in het Nederlands op.
- ◇ Kramers: Mechanisme, min of meer in de gedaante van een mens, dat menselijke bewegingen kan maken.
- ◇ Dit is onze interesse:

# Robotica

- ◇ **Robot**. Komt uit het Tsjechisch uit een toneelstuk van de Tsjechische schrijver Karel Čapek in 1920. (Rossum's Universal Robots= R.U.R.) Hij gebruikt het woord voor kunstmatige arbeiders (robota=werk/werker). In 1931 duikt het voor het eerst in het Nederlands op.
- ◇ Kramers: Mechanisme, min of meer in de gedaante van een mens, dat menselijke bewegingen kan maken.
- ◇ Dit is onze interesse: **Humanoids**

# Robotica

◇ **Robot**. Komt uit het Tsjechisch uit een toneelstuk van de Tsjechische schrijver Karel Čapek in 1920. (Rossum's Universal Robots= R.U.R.) Hij gebruikt het woord voor kunstmatige arbeiders (robota=werk/werker). In 1931 duikt het voor het eerst in het Nederlands op.

◇ Kramers: Mechanisme, min of meer in de gedaante van een mens, dat menselijke bewegingen kan maken.

◇ Dit is onze interesse: **Humanoids**

◇ Meer bescheiden:

# Robotica

- ◇ **Robot**. Komt uit het Tsjechisch uit een toneelstuk van de Tsjechische schrijver Karel Čapek in 1920. (Rossum's Universal Robots= R.U.R.) Hij gebruikt het woord voor kunstmatige arbeiders (robota=werk/werker). In 1931 duikt het voor het eerst in het Nederlands op.
- ◇ Kramers: Mechanisme, min of meer in de gedaante van een mens, dat menselijke bewegingen kan maken.
- ◇ Dit is onze interesse: **Humanoids**
- ◇ Meer bescheiden: autonoom handelend en dus ook redenerende entiteiten

# Robotica

- ◇ **Robot**. Komt uit het Tsjechisch uit een toneelstuk van de Tsjechische schrijver Karel Čapek in 1920. (Rossum's Universal Robots= R.U.R.) Hij gebruikt het woord voor kunstmatige arbeiders (robota=werk/werker). In 1931 duikt het voor het eerst in het Nederlands op.
- ◇ Kramers: Mechanisme, min of meer in de gedaante van een mens, dat menselijke bewegingen kan maken.
- ◇ Dit is onze interesse: **Humanoids**
- ◇ Meer bescheiden: autonoom handelend en dus ook redenerende entiteiten
- ◇ **Agents**

# Symbolische Robotica

- ◇ Agents die een symbolische weergave van de werkelijkheid hanteren

# Symbolische Robotica

- ◇ Agents die een symbolische weergave van de werkelijkheid hanteren
- ◇ Redeneren van deze symbolische weergave geschiedt m.b.v. logica

# Symbolische Robotica

- ◇ Agents die een symbolische weergave van de werkelijkheid hanteren
- ◇ Redeneren van deze symbolische weergave geschiedt m.b.v. logica
- ◇ Niet-symbolisch, of beter, sub-symbolisch zijn b.v. Neurale Netwerken of Elektrische Circuits

# Logica en Symbolische Robotica

**Missie:** het bestuderen van het zuivere redeneren en implementaties en toepassingen daarvan

# Logica en Symbolische Robotica

**Missie:** het bestuderen van het zuivere redeneren en implementaties en toepassingen daarvan

◇ Onze implementaties en toepassingen resulteren veelal in **agents**

# Voorbeelden agents

# Voorbeelden agents

◇ Mars karretje

## Voorbeelden agents

◇ Mars karretje

◇ Robotarmen

## Voorbeelden agents

- ◇ Mars karretje
- ◇ Robotarmen
- ◇ Zoekmachine internet

## Voorbeelden agents

- ◇ Mars karretje
- ◇ Robotarmen
- ◇ Zoekmachine internet
- ◇ Wumpus agent

## Agents zijn moeilijk

- ◇ Spelen met blokken (logica, wegens inaccuratie is feedback noodzakelijk, coördinatie) m.b.v. een robotarm

## Agents zijn moeilijk

- ◇ Spelen met blokken (logica, wegens inaccuratie is feedback noodzakelijk, coördinatie) m.b.v. een robotarm
- ◇ Feedback is belangrijk en ontbreekt bij sommige mest-kevers

## Agents zijn moeilijk

- ◇ Spelen met blokken (logica, wegens inaccuratie is feedback noodzakelijk, coördinatie) m.b.v. een robotarm
- ◇ Feedback is belangrijk en ontbreekt bij sommige mest-kevers
- ◇ Feedback is ook niet altijd eenduiding te interpreteren (poesje rent tegen de muur en gaat met de sterretjes spelen die zij ziet)

## Agents zijn moeilijk

- ◇ Spelen met blokken (logica, wegens inaccuratie is feedback noodzakelijk, coördinatie) m.b.v. een robotarm
- ◇ Feedback is belangrijk en ontbreekt bij sommige mest-kevers
- ◇ Feedback is ook niet altijd eenduiding te interpreteren (poesje rent tegen de muur en gaat met de sterretjes spelen die zij ziet)
- ◇ Onderspecificatie en dubbelzinnigheden

## Agents zijn moeilijk

- ◇ Spelen met blokken (logica, wegens inaccuratie is feedback noodzakelijk, coördinatie) m.b.v. een robotarm
- ◇ Feedback is belangrijk en ontbreekt bij sommige mest-kevers
- ◇ Feedback is ook niet altijd eenduiding te interpreteren (poesje rent tegen de muur en gaat met de sterretjes spelen die zij ziet)
- ◇ Onderspecificatie en dubbelzinnigheden ga toch zitten

## Agents zijn moeilijk

- ◇ Spelen met blokken (logica, wegens inaccuratie is feedback noodzakelijk, coördinatie) m.b.v. een robotarm
- ◇ Feedback is belangrijk en ontbreekt bij sommige mest-kevers
- ◇ Feedback is ook niet altijd eenduiding te interpreteren (poesje rent tegen de muur en gaat met de sterretjes spelen die zij ziet)
- ◇ Onderspecificatie en dubbelzinnigheden ga toch zitten (waar?)

## Agents zijn moeilijk

- ◇ Spelen met blokken (logica, wegens inaccuratie is feedback noodzakelijk, coördinatie) m.b.v. een robotarm
- ◇ Feedback is belangrijk en ontbreekt bij sommige mest-kevers
- ◇ Feedback is ook niet altijd eenduiding te interpreteren (poesje rent tegen de muur en gaat met de sterretjes spelen die zij ziet)
- ◇ Onderspecificatie en dubbelzinnigheden ga toch zitten (waar?), luister goed naar me

## Agents zijn moeilijk

- ◇ Spelen met blokken (logica, wegens inaccuratie is feedback noodzakelijk, coördinatie) m.b.v. een robotarm
- ◇ Feedback is belangrijk en ontbreekt bij sommige mest-kevers
- ◇ Feedback is ook niet altijd eenduiding te interpreteren (poesje rent tegen de muur en gaat met de sterretjes spelen die zij ziet)
- ◇ Onderspecificatie en dubbelzinnigheden ga toch zitten (waar?), luister goed naar me (voor hoe lang? en als je weg gaat?)

## Agents zijn moeilijk

- ◇ Spelen met blokken (logica, wegens inaccuratie is feedback noodzakelijk, coördinatie) m.b.v. een robotarm
- ◇ Feedback is belangrijk en ontbreekt bij sommige mest-kevers
- ◇ Feedback is ook niet altijd eenduiding te interpreteren (poesje rent tegen de muur en gaat met de sterretjes spelen die zij ziet)
- ◇ Onderspecificatie en dubbelzinnigheden ga toch zitten (waar?), luister goed naar me (voor hoe lang? en als je weg gaat?), zou je me de melk kunnen geven?

## Agents zijn moeilijk

- ◇ Spelen met blokken (logica, wegens inaccuratie is feedback noodzakelijk, coördinatie) m.b.v. een robotarm
- ◇ Feedback is belangrijk en ontbreekt bij sommige mest-kevers
- ◇ Feedback is ook niet altijd eenduiding te interpreteren (poesje rent tegen de muur en gaat met de sterretjes spelen die zij ziet)
- ◇ Onderspecificatie en dubbelzinnigheden ga toch zitten (waar?), luister goed naar me (voor hoe lang? en als je weg gaat?), zou je me de melk kunnen geven? (ja, nou doe dat dan!, de taak specificatie is overigens op hoog niveau)

## Agents zijn moeilijk

- ◇ Spelen met blokken (logica, wegens inaccuratie is feedback noodzakelijk, coördinatie) m.b.v. een robotarm
- ◇ Feedback is belangrijk en ontbreekt bij sommige mest-kevers
- ◇ Feedback is ook niet altijd eenduiding te interpreteren (poesje rent tegen de muur en gaat met de sterretjes spelen die zij ziet)
- ◇ Onderspecificatie en dubbelzinnigheden ga toch zitten (waar?), luister goed naar me (voor hoe lang? en als je weg gaat?), zou je me de melk kunnen geven? (ja, nou doe dat dan!, de taak specificatie is overigens op hoog niveau), wil je koffie of thee?

## Agents zijn moeilijk

- ◇ Spelen met blokken (logica, wegens inaccuratie is feedback noodzakelijk, coördinatie) m.b.v. een robotarm
- ◇ Feedback is belangrijk en ontbreekt bij sommige mest-kevers
- ◇ Feedback is ook niet altijd eenduiding te interpreteren (poesje rent tegen de muur en gaat met de sterretjes spelen die zij ziet)
- ◇ Onderspecificatie en dubbelzinnigheden ga toch zitten (waar?), luister goed naar me (voor hoe lang? en als je weg gaat?), zou je me de melk kunnen geven? (ja, nou doe dat dan!, de taak specificatie is overigens op hoog niveau), wil je koffie of thee?
- ◇ Mark Haddon: ga naar het station (The curious incident of the dog in the night-time)

## Agents zijn moeilijk

- ◇ Spelen met blokken (logica, wegens inaccuratie is feedback noodzakelijk, coördinatie) m.b.v. een robotarm
- ◇ Feedback is belangrijk en ontbreekt bij sommige mest-kevers
- ◇ Feedback is ook niet altijd eenduiding te interpreteren (poesje rent tegen de muur en gaat met de sterretjes spelen die zij ziet)
- ◇ Onderspecificatie en dubbelzinnigheden ga toch zitten (waar?), luister goed naar me (voor hoe lang? en als je weg gaat?), zou je me de melk kunnen geven? (ja, nou doe dat dan!, de taak specificatie is overigens op hoog niveau), wil je koffie of thee?
- ◇ Mark Haddon: ga naar het station (The curious incident of the dog in the night-time)
- ◇ We willen Logic-based agents. Dit levert **declaratief** i.p.v. **procedureel** programmeren op.

## Goede specificatie

- ◇ Kies een taal zonder dubbelzinnigheden (minifragment)

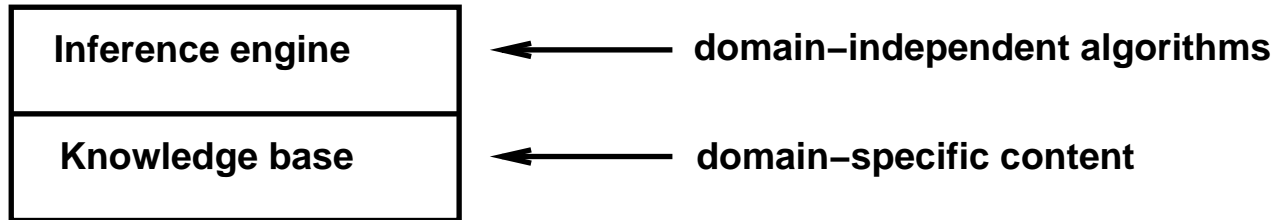
## Goede specificatie

- ◇ Kies een taal zonder dubbelzinnigheden (minifragment)
- ◇ Specificeer de taak goed (zonder ongewenste bijeffecten (stofzuig-robot))

## Goede specificatie

- ◇ Kies een taal zonder dubbelzinnigheden (minifragment)
- ◇ Specificeer de taak goed (zonder ongewenste bijeffecten (stofzuig-robot))
- ◇ PEAS (**P**erformance, **E**nvironment, **A**ctuators, **S**ensors)

# Logical agents: Knowledge bases



Knowledge base = set of sentences in a **formal** language

Declarative approach to building an agent (or other system):

**TELL** it what it needs to know

Then it can **ASK** itself what to do—answers should follow from the KB

Agents can be viewed at the **knowledge level**

i.e., **what they know**, regardless of how implemented

## A simple knowledge-based agent

```
function KB-AGENT(percept) returns an action  
  static: KB, a knowledge base  
           t, a counter, initially 0, indicating time  
  
  TELL(KB, MAKE-PERCEPT-SENTENCE(percept, t))  
  action ← ASK(KB, MAKE-ACTION-QUERY(t))  
  TELL(KB, MAKE-ACTION-SENTENCE(action, t))  
  t ← t + 1  
  return action
```

The agent must be able to:

- Represent states, actions, etc.
- Incorporate new percepts
- Update internal representations of the world
- Deduce hidden properties of the world
- Deduce appropriate actions

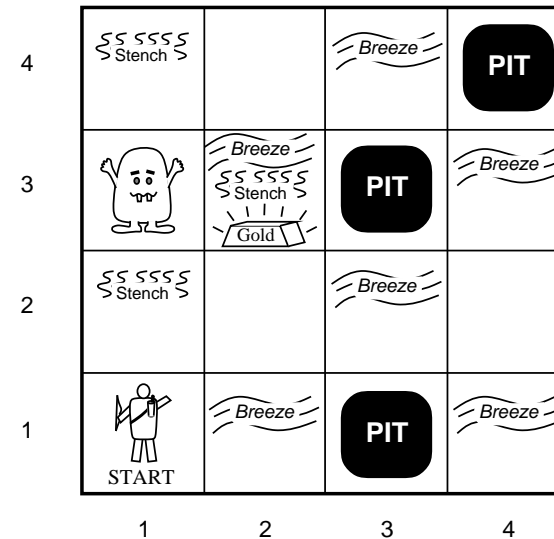
# Wumpus World PEAS description

## Performance measure

gold +1000, death -1000  
 -1 per step, -10 for using the arrow

## Environment

Squares adjacent to wumpus are smelly  
 Squares adjacent to pit are breezy  
 Glitter iff gold is in the same square  
 Shooting kills wumpus if you are facing it  
 Shooting uses up the only arrow  
 Grabbing picks up gold if in same square  
 Releasing drops the gold in same square



Actuators Left turn, Right turn,  
 Forward, Grab, Release, Shoot

Sensors Breeze, Glitter, Smell

# Tentamenregeling

- ◇ Het eindcijfer wordt bepaald door een viertal onderdelen

# Tentamenregeling

◇ Het eindcijfer wordt bepaald door een viertal onderdelen

Huiswerk, 20 %

Wekelijks in te leveren bij Brammert (mag via BB) voor het werkcollege op vrijdag (de opgaven worden in den regel op maandag op gegeven)

# Tentamenregeling

◇ Het eindcijfer wordt bepaald door een viertal onderdelen

Huiswerk, 20 %

Wekelijks in te leveren bij Brammert (mag via BB) voor het werkcollege op vrijdag (de opgaven worden in den regel op maandag op gegeven)

Tussentoets, 25 %

Na blok a wordt deze tussentoets gehouden.

# Tentamenregeling

◇ Het eindcijfer wordt bepaald door een viertal onderdelen

Huiswerk, 20 %

Wekelijks in te leveren bij Brammert (mag via BB) voor het werkcollege op vrijdag (de opgaven worden in den regel op maandag op gegeven)

Tussentoets, 25 %

Na blok a wordt deze tussentoets gehouden.

Eindtentamen, 55 %

Aan het eind van Blok b. Gaat over de gehele stof.

# Tentamenregeling

◇ Het eindcijfer wordt bepaald door een viertal onderdelen

## Huiswerk, 20 %

Wekelijks in te leveren bij Brammert (mag via BB) voor het werkcollege op vrijdag (de opgaven worden in den regel op maandag op gegeven)

## Tussentoets, 25 %

Na blok a wordt deze tussentoets gehouden.

## Eindtentamen, 55 %

Aan het eind van Blok b. Gaat over de gehele stof.

## Bonus

7-minutentoetsjes  
presentaties

# Tentamenregeling

## Herkansing

Over de gehele stof en voor 100 %. (De andere onderdelen vervallen.)

# Tentamenregeling

## Herkansing

Over de gehele stof en voor 100 %. (De andere onderdelen vervallen.)

## Huiswerk

Aan te raden, niet verplicht. Wel verplicht voor studenten die een onvoldoende voor het Logica-onderdeel van de basiskundes hadden.

# Tentamenregeling

## Herkansing

Over de gehele stof en voor 100 %. (De andere onderdelen vervallen.)

## Huiswerk

Aan te raden, niet verplicht. Wel verplicht voor studenten die een onvoldoende voor het Logica-onderdeel van de basiskundes hadden.

## Tussentoets

Moet voldoende zijn.

# College opzet

Maandag

1h HC

1h WG

# College opzet

Maandag

1h HC

1h WG

Vrijdag

1h WC (mogelijk in twee groepen)

1h HC

# College opzet

## Maandag

1h HC

1h WG

## Vrijdag

1h WC (mogelijk in twee groepen)

1h HC

## Practicum

Niet in Blok a, wel in Blok b.

# Nogmaals: Wumpus World

## Performance measure

gold +1000, death -1000

-1 per step, -10 for using the arrow

## Environment

Squares adjacent to wumpus are smelly

Squares adjacent to pit are breezy

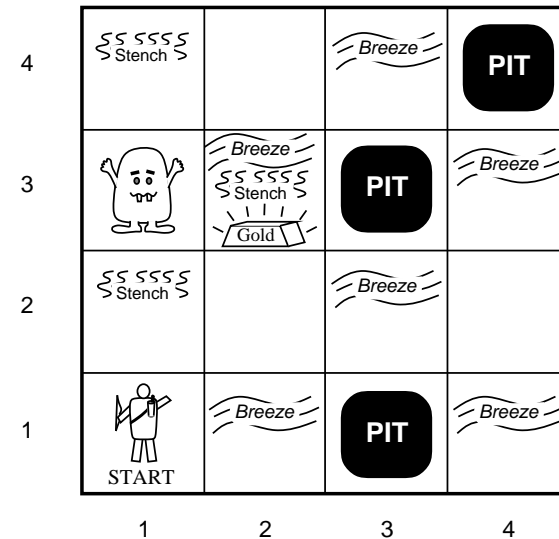
Glitter iff gold is in the same square

Shooting kills wumpus if you are facing it

Shooting uses up the only arrow

Grabbing picks up gold if in same square

Releasing drops the gold in same square



Actuators Left turn, Right turn,

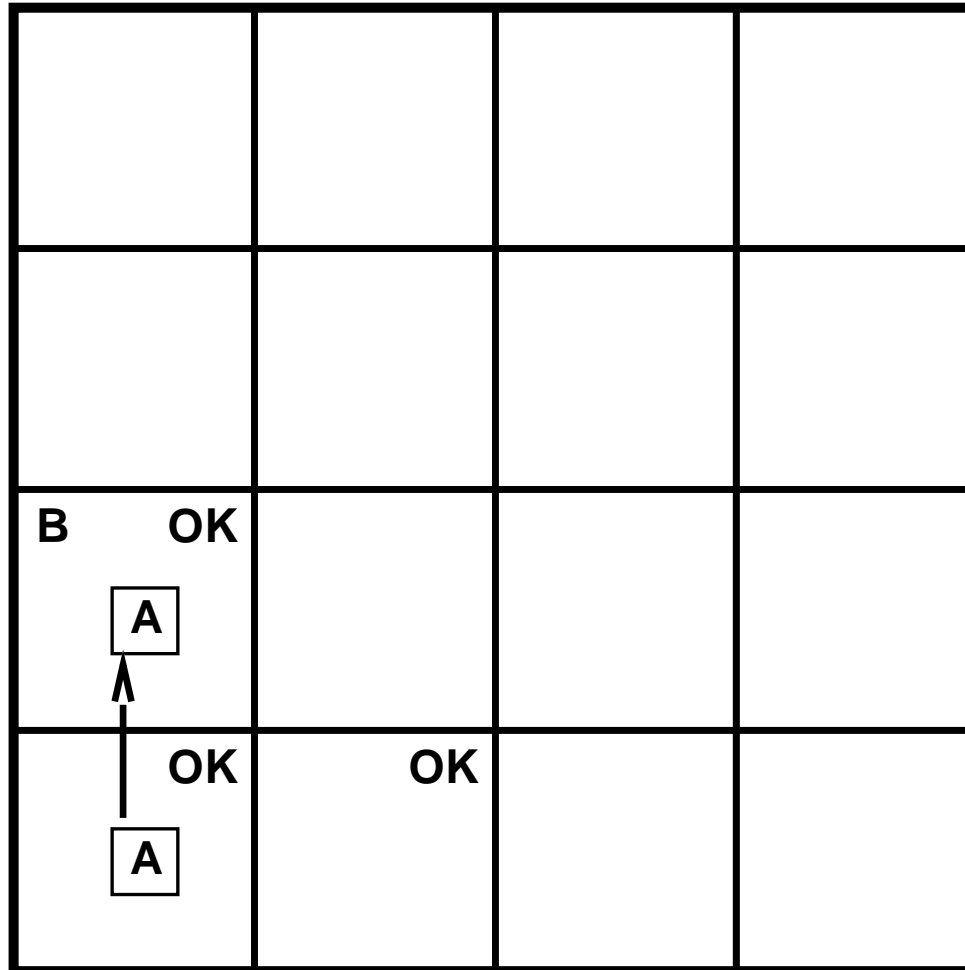
Forward, Grab, Release, Shoot

Sensors Breeze, Glitter, Smell

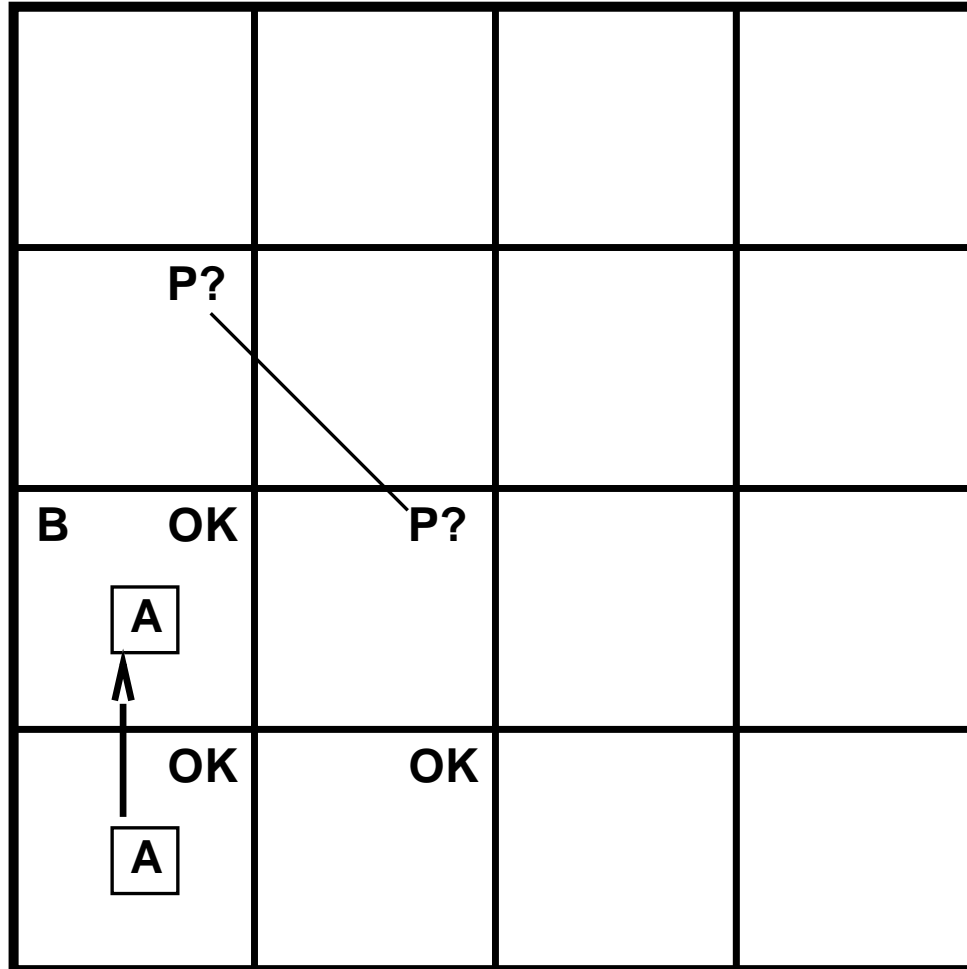
# Exploring a wumpus world

OK			
OK <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">A</span>	OK		

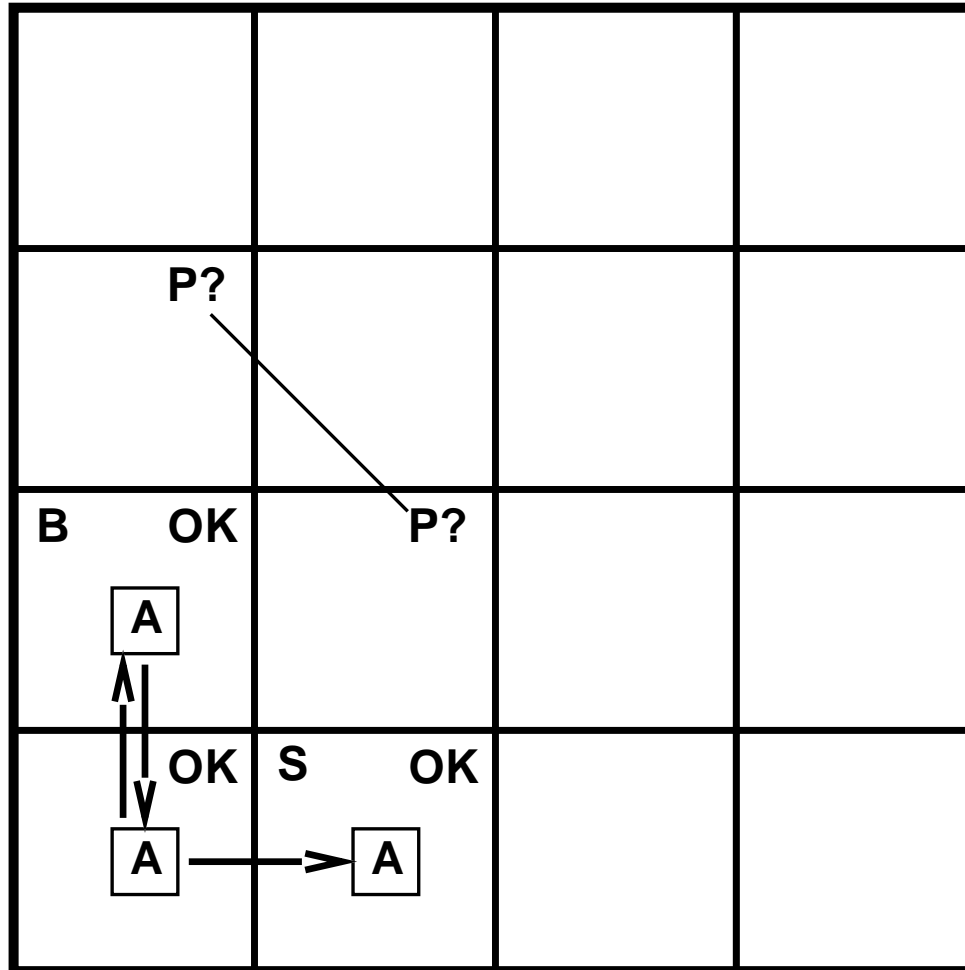
# Exploring a wumpus world



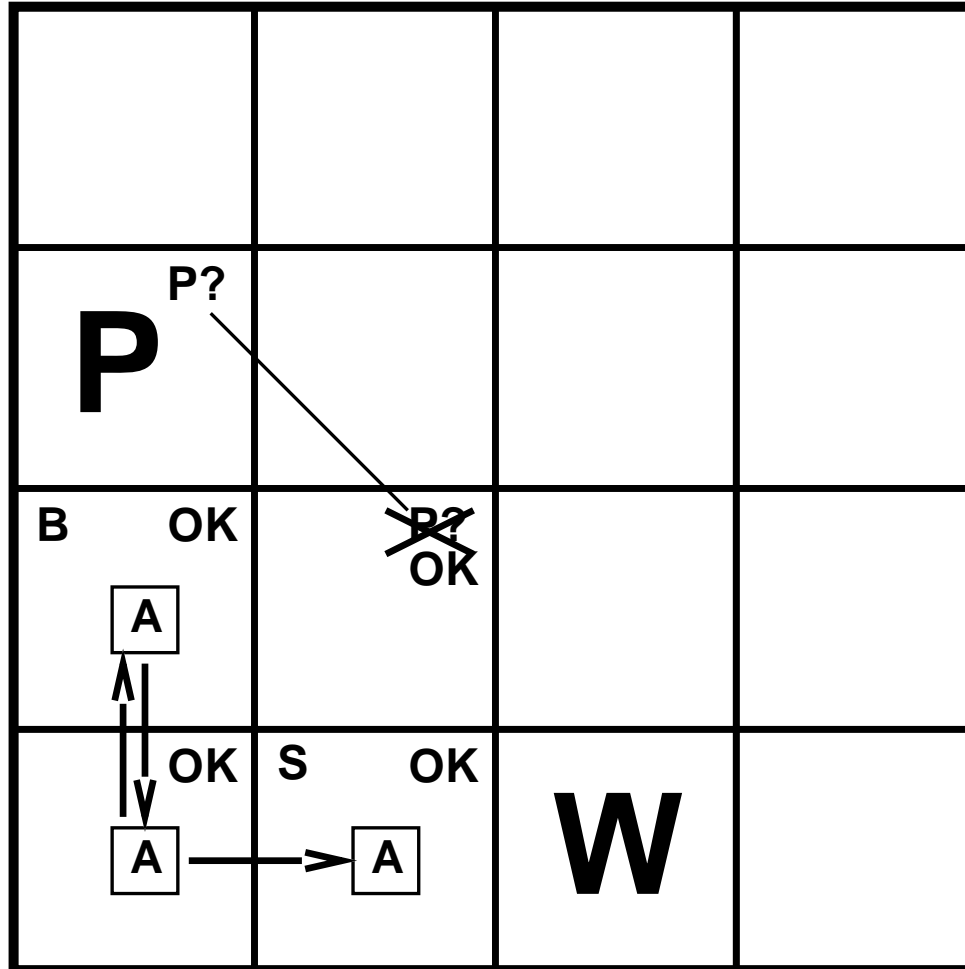
# Exploring a wumpus world



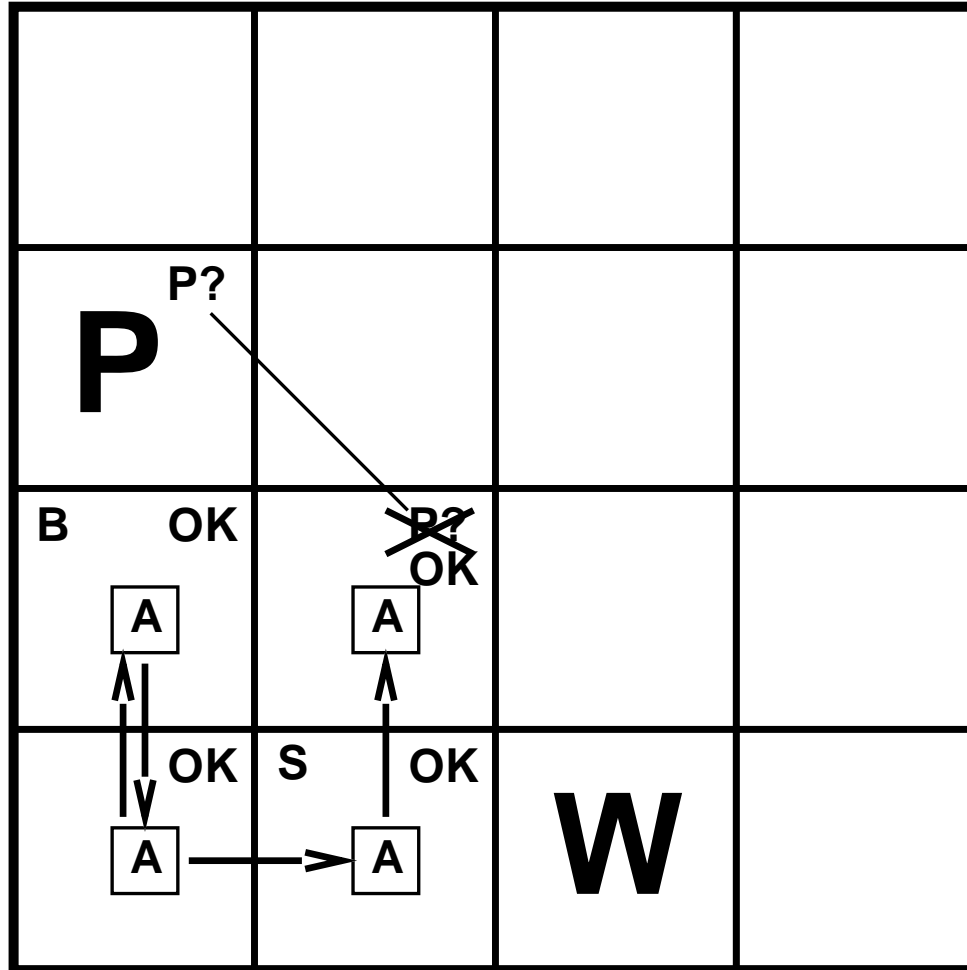
# Exploring a wumpus world



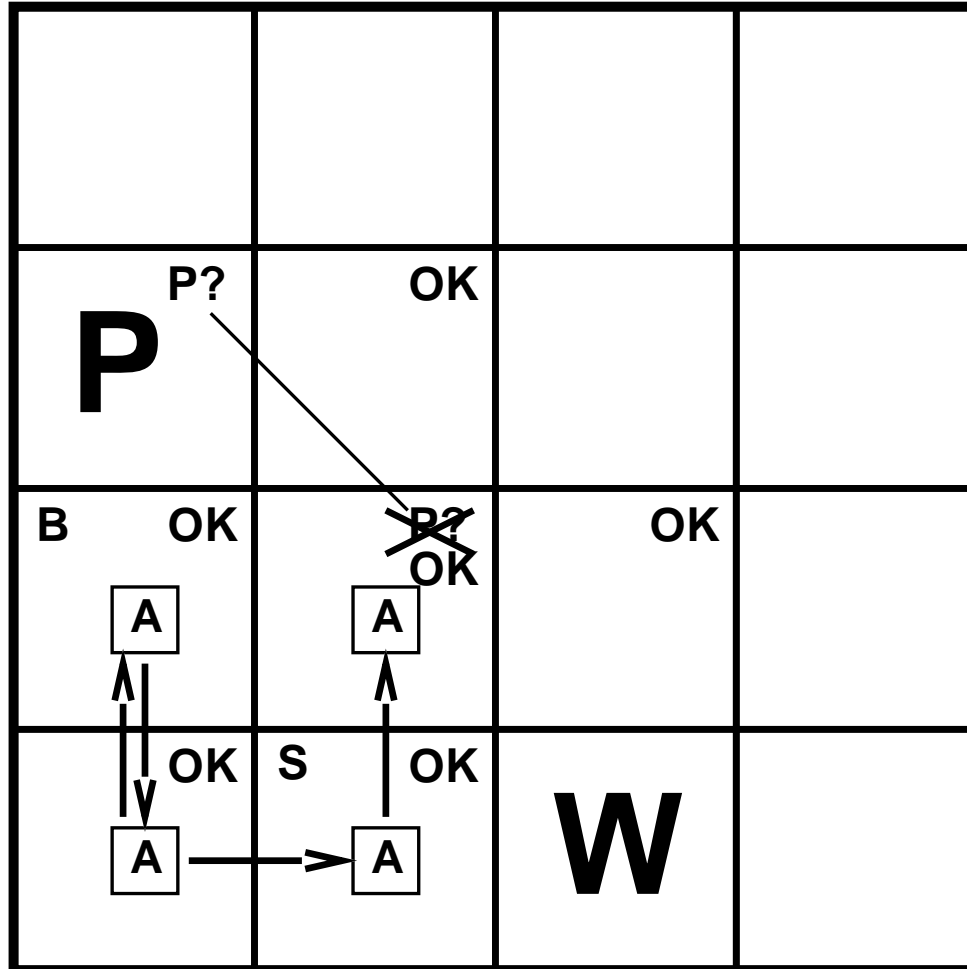
# Exploring a wumpus world



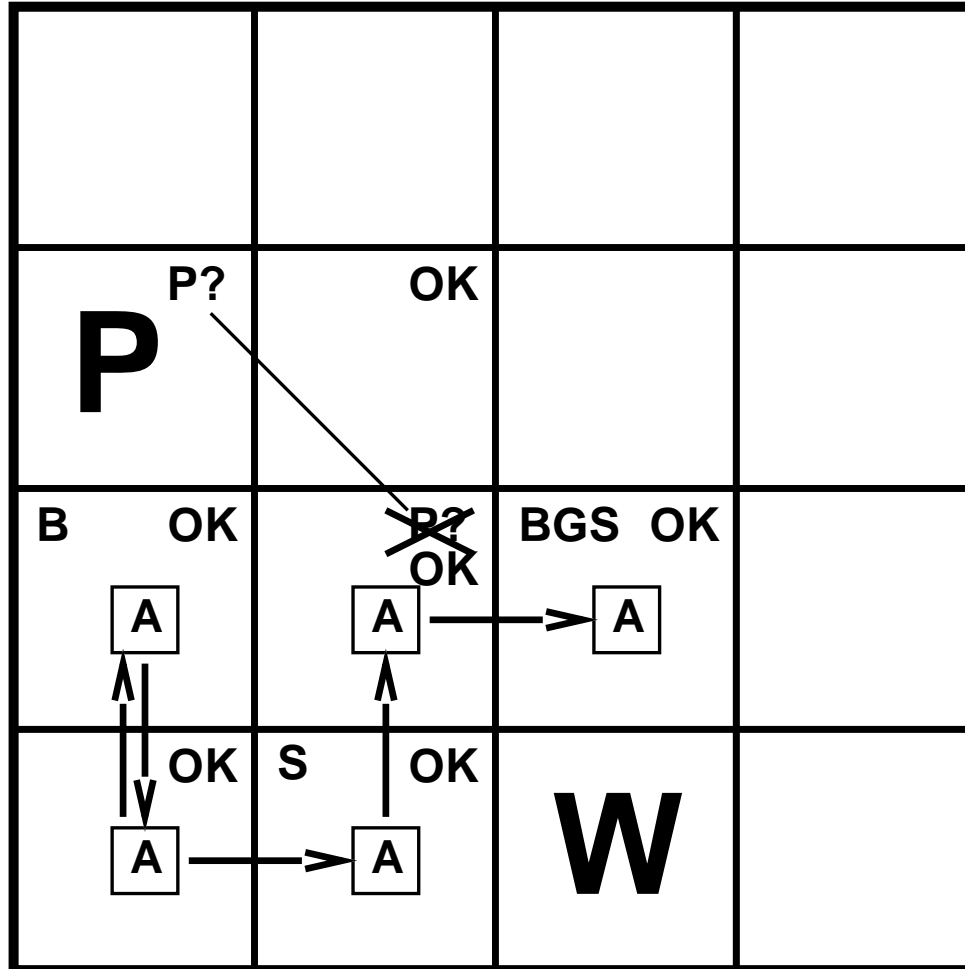
# Exploring a wumpus world



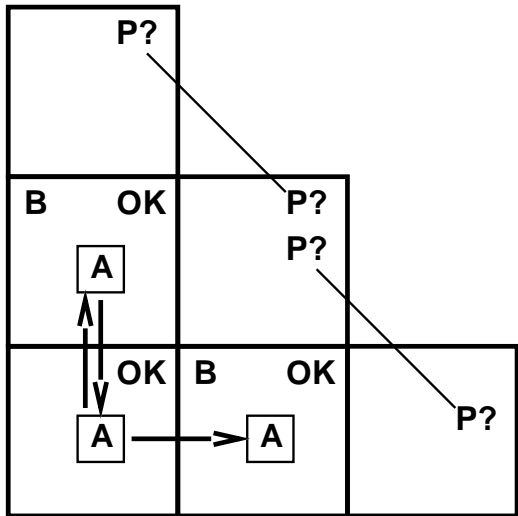
# Exploring a wumpus world



# Exploring a wumpus world



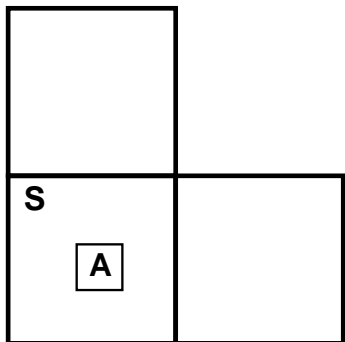
# Other tight spots



Breeze in (1,2) and (2,1)  
 $\Rightarrow$  no safe actions

Assuming pits uniformly distributed,  
 (2,2) has pit w/ prob 0.86, vs. 0.31

Smell in (1,1)  
 $\Rightarrow$  cannot move



Can use a strategy of coercion (dwang):

shoot straight ahead

wumpus was there  $\Rightarrow$  dead  $\Rightarrow$  safe

wumpus wasn't there  $\Rightarrow$  safe

# Propositional logic and the Knowledge Base

There is no pit in  $[1,1]$

# Propositional logic and the Knowledge Base

There is no pit in  $[1,1]$

Breezy pits  $B_{1,1}$  and  $B_{2,1}$

# Propositional logic and the Knowledge Base

There is no pit in  $[1,1]$

Breezy pits  $B_{1,1}$  and  $B_{2,1}$

Percepts  $\neg B_{1,1}, B_{2,1}$

## Propositional logic and the Knowledge Base

There is no pit in  $[1,1]$

Breezy pits  $B_{1,1}$  and  $B_{2,1}$

Percepts  $\neg B_{1,1}, B_{2,1}$

Just one Wumpus (We don't need this yet.)

# Entailment

Entailment means that one thing **follows from** another:

$$KB \models \alpha$$

Knowledge base  $KB$  entails sentence  $\alpha$   
if and only if

$\alpha$  is true in all worlds where  $KB$  is true

E.g., the KB containing “the Giants won” and “the Reds won”  
entails “Either the Giants won or the Reds won”

E.g.,  $x + y = 4$  entails  $4 = x + y$

Entailment is a relationship between sentences (i.e., **syntax**)  
that is based on **semantics**

Note: brains process **syntax** (of some sort)

# Models

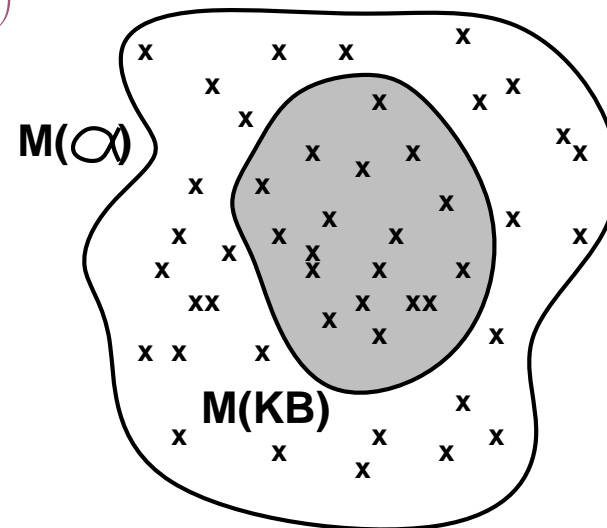
Logicians typically think in terms of **models**, which are formally structured worlds with respect to which truth can be evaluated

We say  $m$  is a **model** of a sentence  $\alpha$  if  $\alpha$  is true in  $m$

$M(\alpha)$  is the set of all models of  $\alpha$

Then  $KB \models \alpha$  if and only if  $M(KB) \supseteq M(\alpha)$

E.g.  $KB =$  Giants won and Reds won  
 $\alpha =$  Giants won



# Models

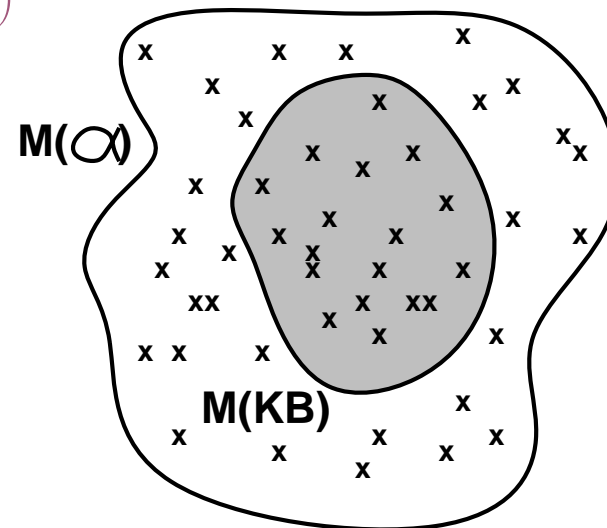
Logicians typically think in terms of **models**, which are formally structured worlds with respect to which truth can be evaluated

We say  $m$  is a **model** of a sentence  $\alpha$  if  $\alpha$  is true in  $m$

$M(\alpha)$  is the set of all models of  $\alpha$

Then  $KB \models \alpha$  if and only if  $M(KB) \subseteq M(\alpha)$

E.g.  $KB =$  Giants won and Reds won  
 $\alpha =$  Giants won

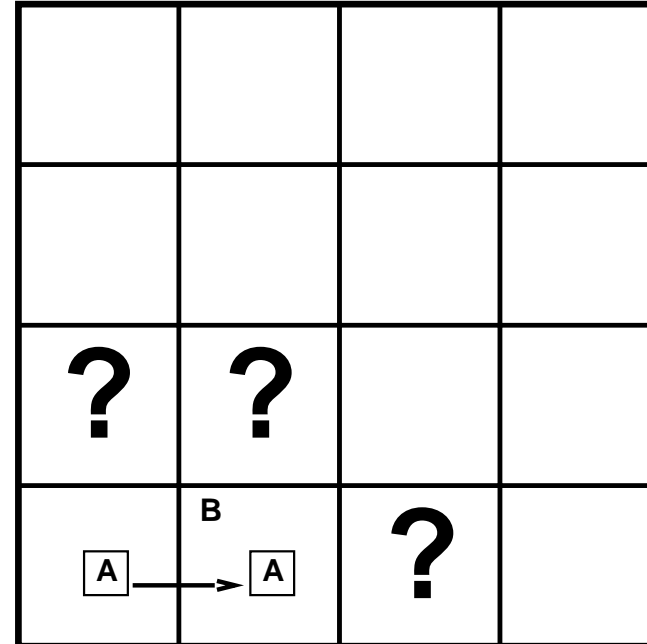


# Entailment in the wumpus world

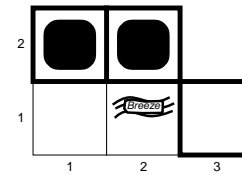
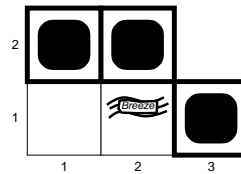
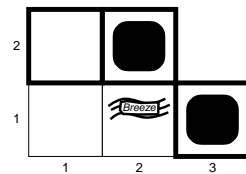
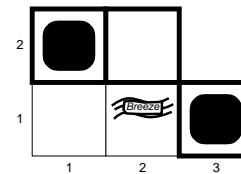
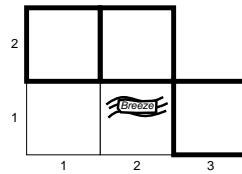
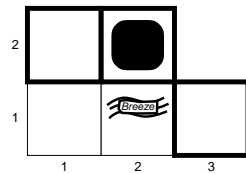
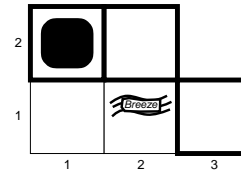
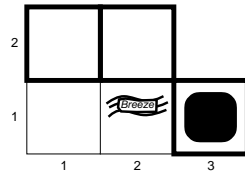
Situation after detecting nothing in [1,1],  
moving right, breeze in [2,1]

Consider possible models for ?s  
only taking pits into account

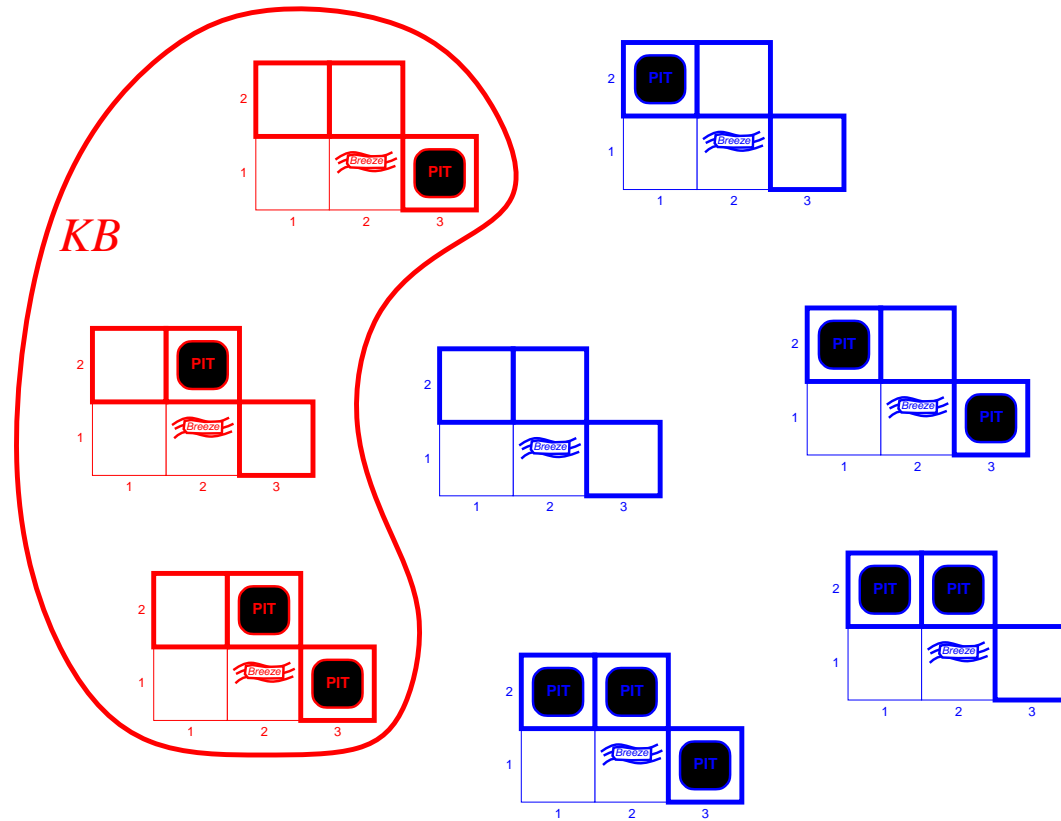
3 Boolean choices  $\Rightarrow$  8 possible models



# Wumpus models

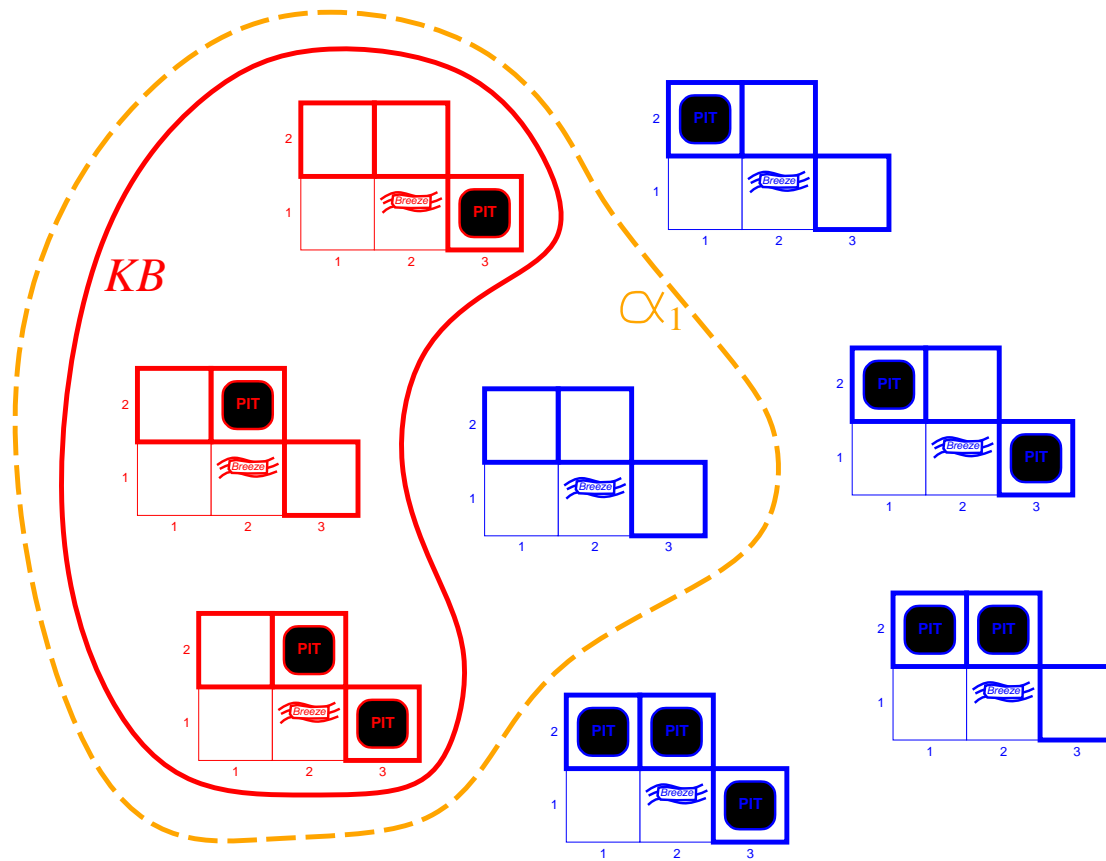


# Wumpus models



$KB = \text{wumpus-world rules} + \text{observations}$

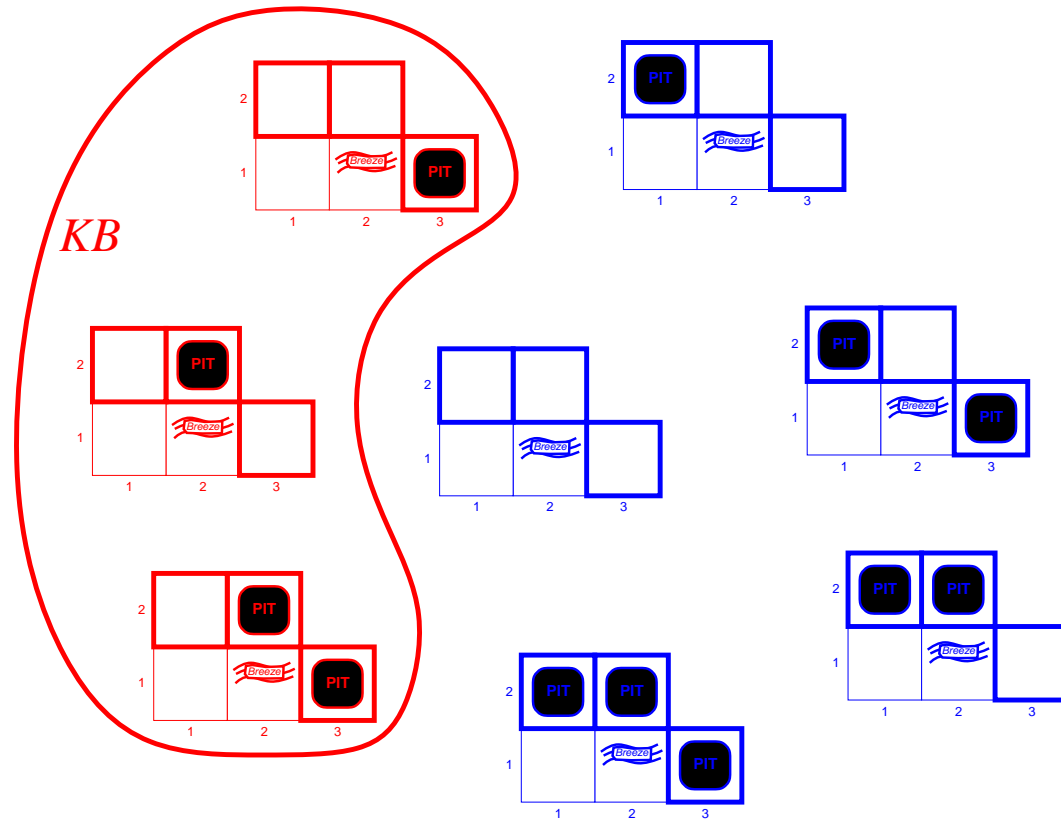
# Wumpus models



$KB$  = wumpus-world rules + observations

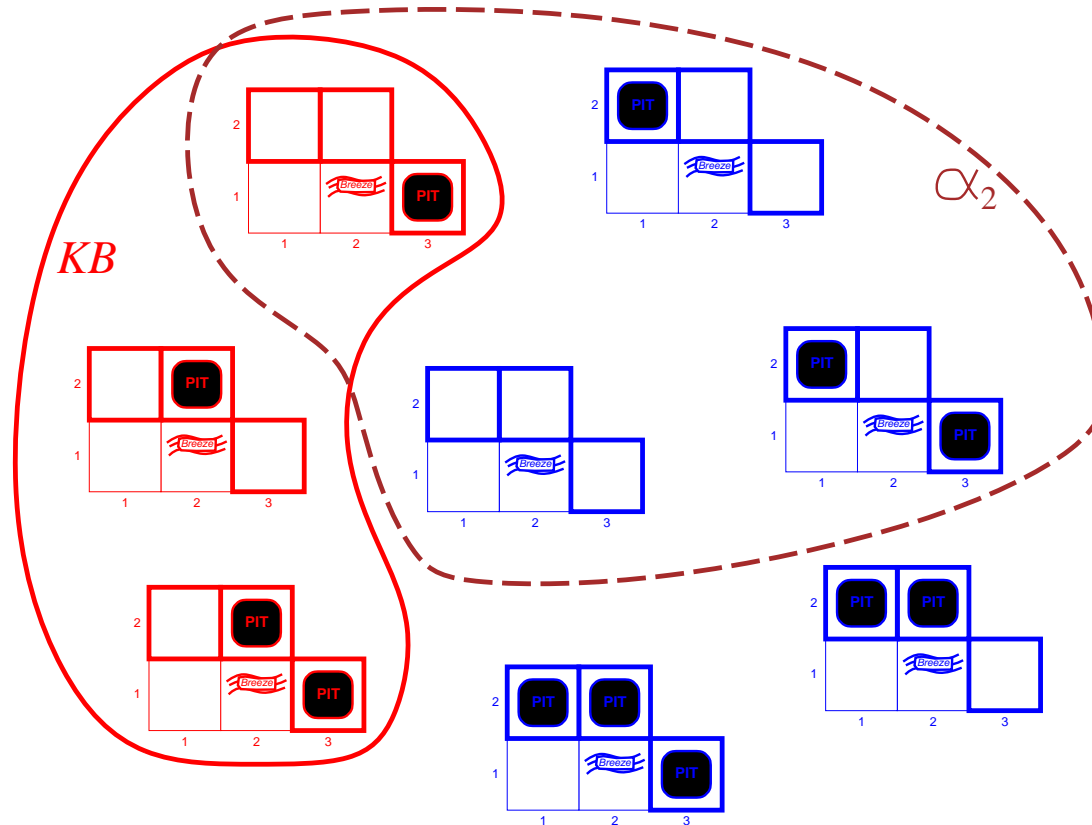
$\alpha_1 = "[1,2]$  is safe",  $KB \models \alpha_1$ , proved by model checking

# Wumpus models



$KB = \text{wumpus-world rules} + \text{observations}$

# Wumpus models



$KB$  = wumpus-world rules + observations

$\alpha_2$  = "[2,2] is safe",  $KB \neq \alpha_2$

## Truth tables for inference

$B_{1,1}$	$B_{2,1}$	$P_{1,1}$	$P_{1,2}$	$P_{2,1}$	$P_{2,2}$	$P_{3,1}$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$KB$
<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>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<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>true</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>false</i>
<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<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>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<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>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<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>true</i>	<i>false</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>true</i>	<i>false</i>
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
<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>true</i>	<i>true</i>	<i>false</i>	<i>true</i>	<i>false</i>

Enumerate rows (different assignments to symbols),

if  $KB$  is true in row, check that  $\alpha$  is too

E.g.  $\alpha_1 = "[1,2] \text{ is safe}"$  and  $\alpha_2 = "[2,2] \text{ is safe}"$

# Inference

$KB \vdash_i \alpha$  = sentence  $\alpha$  can be derived from  $KB$  by procedure  $i$

Consequences of  $KB$  are a haystack;  $\alpha$  is a needle.

Entailment = needle in haystack; inference = finding it

Soundness:  $i$  is sound if

whenever  $KB \vdash_i \alpha$ , it is also true that  $KB \models \alpha$

Completeness:  $i$  is complete if

whenever  $KB \models \alpha$ , it is also true that  $KB \vdash_i \alpha$