

**Politechnika Warszawska**

Ośrodek Kształcenia Na Odległość

**Politechnika  
Warszawska**



**MSI**

# **Metody Sztucznej Inteligencji**

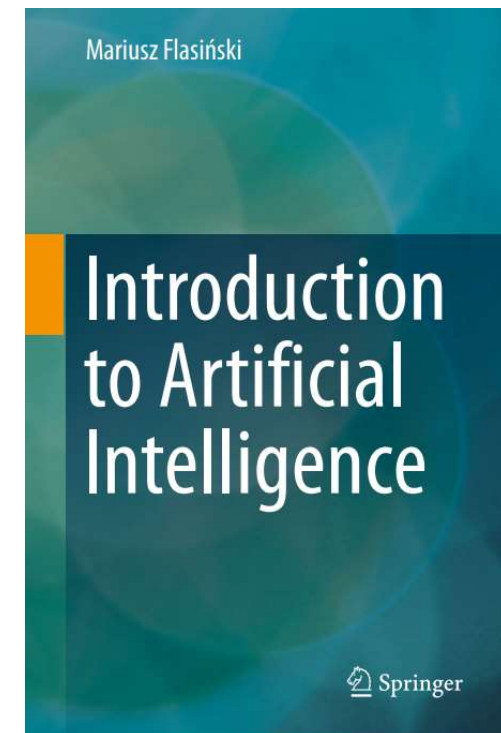
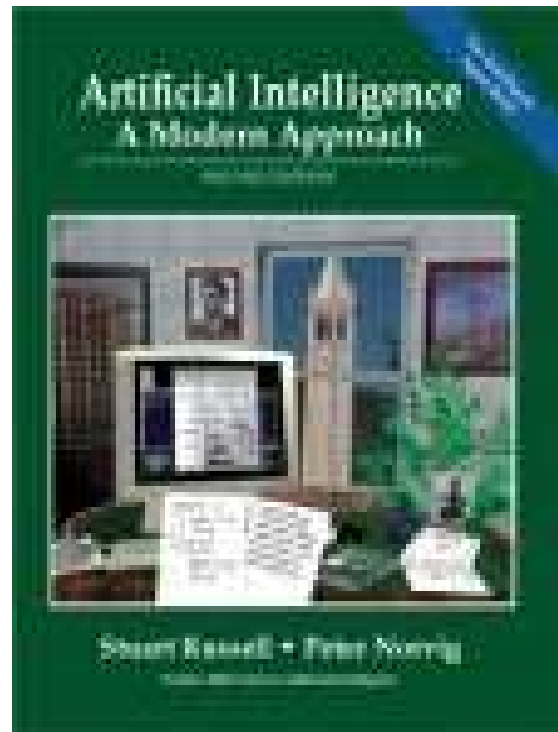
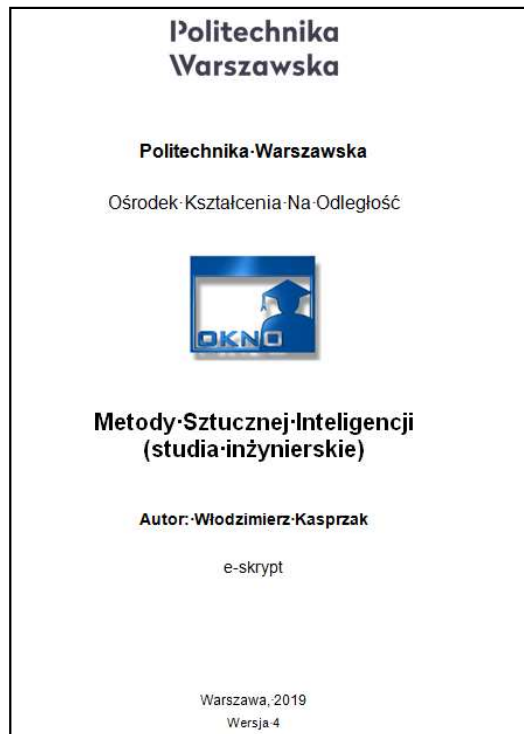
**Studia inżynierskie**

**Włodzimierz Kasprzak**

**Warszawa, 2009-2022**

# Literatura

1. W. Kasprzak: **Metody Sztucznej Inteligencji**. E-skrypt. OKNO, Politechnika Warszawska, 2021, wersja 5.
2. S. Russel, P. Norvig: **Artificial Intelligence. A modern approach**. Prentice Hall, 2002, 2010 (wybrane rozdziały).
3. M. Flasiński: **Introduction to Artificial Intelligence**, Springer Int., 2016



# **MSI**

## **1. Wprowadzenie**

**Włodzimierz Kasprzak**

# Układ

1. Myśleć i działać racjonalnie
2. System z bazą wiedzy
3. Język reprezentacji wiedzy
4. Wynikanie i wnioskowanie
5. Przeszukiwanie przestrzeni stanów
6. Uczenie

Pytania

# 1. Myśleć i działać racjonalnie

Cztery spojrzenia na „**inteligencję**”:

A) Myśleć jak człowiek	B) Myśleć racjonalnie
C) Działać jak człowiek	D) Działać racjonalnie

W naukach technicznych „inteligencja” oznacza:

- „myśleć racjonalnie” → „systemy ekspertowe”
- „działać racjonalnie” → projektowanie „racjonalnie działających agentów”.

# A) Myśleć jak człowiek

- W latach 1960-ych pojawiła się dziedzina wiedzy zwana „kognitywistyką”. Z początku ograniczona była do „psychologii poznawczej”, czyli psychologii przetwarzania informacji.
- Kognitywistyka tworzy naukowe **teorie aktywności mózgu**. Powstaje pytanie, jak te teorie należy weryfikować?
  - 1) Przewidzieć model i **testować zachowania** osób (tzw. podejście „top-down”), co czyni psychologia poznawcza, lub
  - 2) bezpośrednia **identyfikacja modelu** z danych neurologicznych („bottom-up”) – neuro-kognitywistyka.
- Oba podejścia („**cognitive science**” i „**cognitive neuroscience**”) są obecnie oddzielone od „Szt. Inteligencji”.

## B) Myśleć racjonalnie

**Logika myślenia** badana była już w starożytności:

- Arystoteles badał to, jakie argumenty / procesy myślowe są *prawidłowe*?
- Greckie szkoły logiczne: *zapis* i *reguły wyprowadzania* myśli;
- Istnieje bezpośredni związek matematyki i filozofii z nowoczesną „sztuczną inteligencją”.

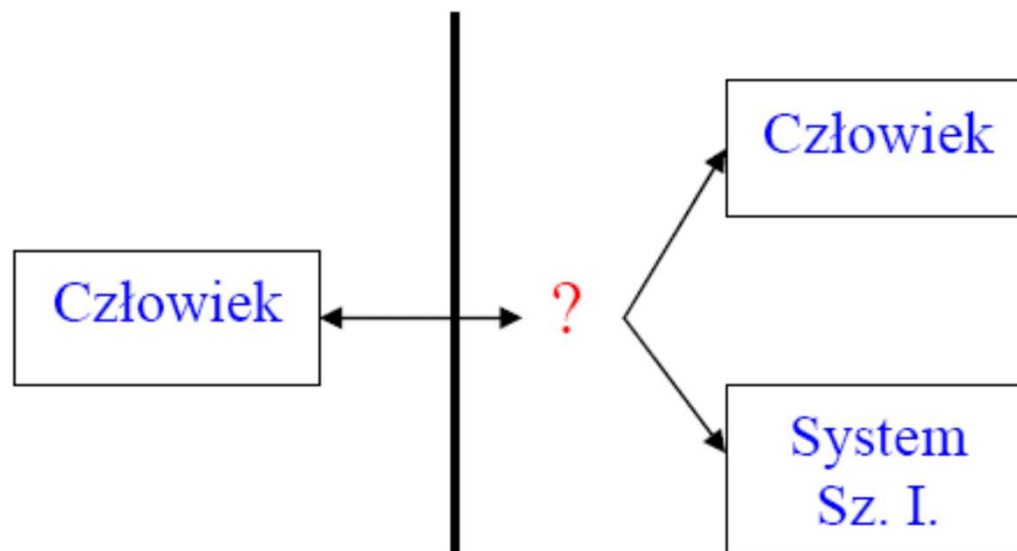
**Problemy tego podejścia do inteligencji:**

1. Nie każde inteligentne zachowanie jest wynikiem logicznego wyprowadzenia.
2. Czy potrafimy odpowiedzieć na pytania” „Jaki jest cel myślenia?”, „Jakie myśli są prawidłowe?”.

## C) Działać jak człowiek

- **Test Turinga (1950)** opublikowany w "*Computing machinery and intelligence*": Pytanie „czy maszyna potrafi myśleć?” tłumaczył na to „czy maszyna działa inteligentnie (tak jak człowiek)?”

Test Turinga to test inteligentnego zachowania się: próba imitowania człowieka.



- Turing zasugerował główne zadania „sztucznej inteligencji”: **reprezentacja wiedzy, wnioskowanie, przeszukiwanie, uczenie.**



## D) Działać racjonalnie

- **Racjonalne zachowanie**: wykonywać właściwą akcję.
- **Właściwa akcja**: taka, która maksymalizuje osiągnięcie celu przy zadanej informacji.
- **Niekoniecznie wymaga to myślenia** – np. nieświadomy refleks – ale **myślenie** powinno być **na usługach** racjonalnego działania.
- **Zalety podejścia „działać racjonalnie”**:
  - Pojęcie „działania” jest ogólniejsze od pojęcia „myślenia”.
  - Pojęcie „racjonalny” jest lepiej określone niż „ludzki”.

---

Celem jest projektowanie **racjonalnie działających systemów** (w informatyce zwykle jest to symulacja systemu w postaci programów).

# Zadania Sztucznej Inteligencji

Zasadnicze zadania systemu Sztucznej Inteligencji to:

1. **Reprezentacja wiedzy i wnioskowanie**,
2. **Realizacja celu** (**rozwiązanie** zadanego **problemu**), w sposób ślepy (rzadziej) lub (częściej) w sposób **racjonalny** (optymalny z punktu widzenia stosowanej **funkcji użyteczności**).

**Cel** może zostać osiągnięty w wyniku stosowania:

- wielokrotnego **wnioskowania**, lub (ogólniej)
- **przeszukiwania** (lub **planowania** działań).

3. Posiadanie zdolności do:

- **uczenia się** (generalizacja wiedzy - wyznaczanie zasad środowiska, modyfikowanie strategii działania).

# Zastosowania *Sztucznej Inteligencji*

Główne zastosowania **sztucznej inteligencji**, rozumianej jako „działać racjonalnie”, to:

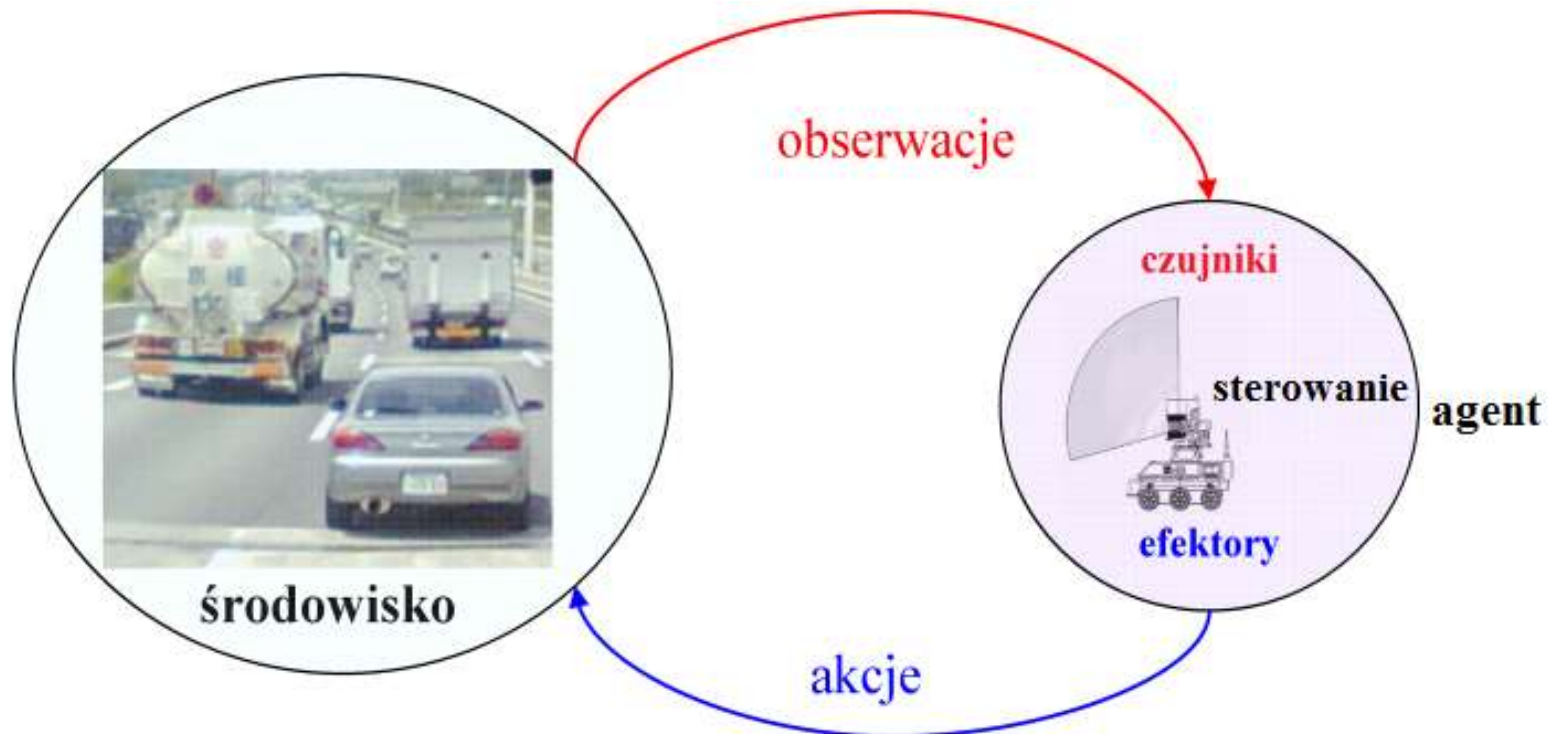
1. **systemy ekspertowe** wspomagające człowieka w problemach logistycznych, diagnostyce medycznej, reagowaniu w nieoczekiwanych sytuacjach lub podejmowaniu decyzji biznesowych;
2. wyższy poziom inteligencji mają reprezentować **systemy agentowe (autonomiczne roboty/softboty)**, posiadające m.in. zdolności samodzielnej percepcji otoczenia, wykonywania akcji (efektory) i uczenia się (nabywania wiedzy).

Implementacja systemu ekspertowego lub agentowego następuje w oparciu o technologię **systemu z bazą wiedzy**.

# Pojęcie „agenta” (1)

- **Agent** to obiekt (jednostka), który postrzega i działa.
- Formalnie: agent to **funkcja** z dziedziny historii **obserwacji** (percepcji) w wykonywane **akcje**:

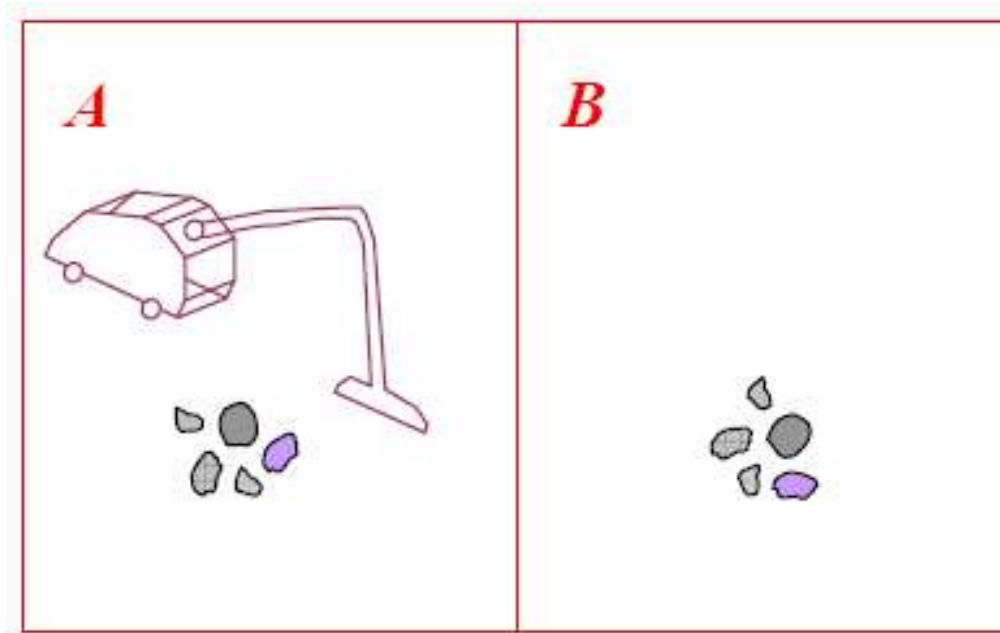
$$[f: \mathcal{P}^* \rightarrow \mathcal{A}]$$



# Pojęcie „agenta” (2)

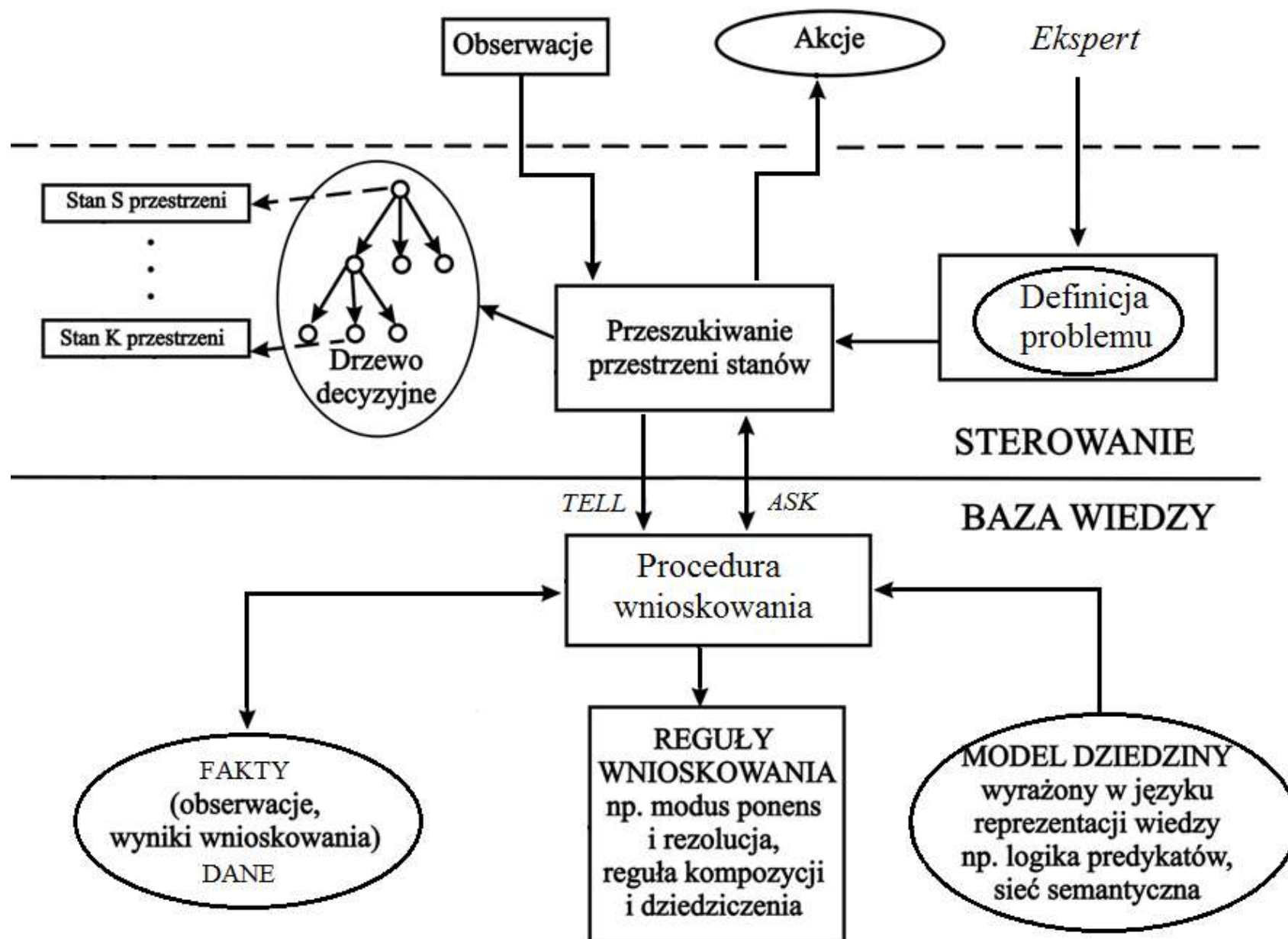
- **Agentem** jest każdy obiekt (jednostka), który **obserwuje** (odbiera) swoje otoczenie dzięki czujnikom (sensorom) i oddziałuje na to środowisko przy pomocy „efektorów” (**wykonuje akcje**).
- **Ludzki agent** posiada:
  - oczy, uszy i inne organy pełniące role czujników oraz
  - ręce, nogi, usta i inne części ciała będące efektorami.
- **Robotyczny agent** posiada:
  - kamery, czujniki podczerwieni, skanery laserowe będące **czujnikami** oraz
  - różne silniki, napędy i manipulatory będące **efektorami**.

# Przykład: „agent odkurzający”



- **Percepcja:** [położenie, stan otoczenia].  
Np. [A, kurz], [B, czysto]
- **Akcje:** { *Lewo*, *Prawo*, *Odkurzaj*, *NicNieRób* }

## 2. System z bazą wiedzy



# Baza wiedzy i sterowanie

System z bazą wiedzy posiada następujące możliwości działania:

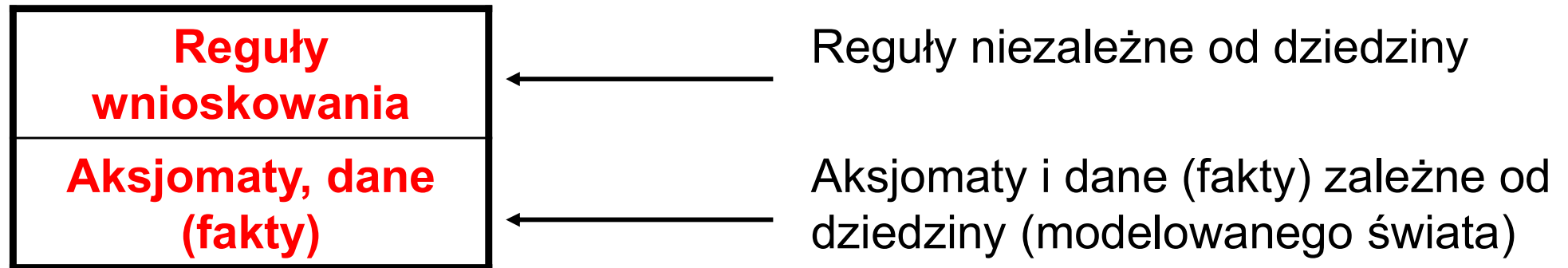
- **reprezentuje** stany, akcje;
- **integruje** nowe obserwacje;
- **modyfikuje** wewnętrzną reprezentację świata, tzn. **wnioskuje** o ukrytych własnościach świata wynikających z obserwacji;
- **wybiera** wymagane akcje (podcele) systemu.

W tym celu **sterowanie** komunikuje się z bazą wiedzy (KB) używając operacji **TELL** i **ASK**:

- **TELL: Sterowanie → KB** (powiedz KB o nowych faktach),
- **ASK : KB → Sterowanie** (zapytaj się KB co robić, sama treść zapytania też może pochodzić z KB).



# Baza wiedzy



**Baza wiedzy** („*knowledge base*” - KB) to zbiór aksjomatów i **faktów** o modelowanym świecie oraz **reguł wnioskowania**. Aksjomaty i fakty mają postać **formuł** lub **zdań** zapisanych w **języku** reprezentacji wiedzy. Reguły wnioskowania to **tautologie** języka.

## Stan bazy wiedzy

- System rozpoczyna **z początkową wiedzą** (modelem dziedziny) zawartą w KB.
- W wyniku obserwacji dodawane są **nowe dane (fakty)**.
- Z faktów i modelu dziedziny sterowanie może generować (**wnioskować**) ukryte fakty.

# Podsystem sterowania

```
function KBsystem(obserwacja) zwraca akcję
{ static: KB, // baza wiedzy
      t; // licznik (indeks czasu) – początkowo wynosi 1
  TELL(KB, UtwórzZdanieObserwacji(obserwacja,t));
  akcja ← ASK(KB, UtwórzZapytanieAkcji(t));
  TELL(KB, UtwórzZdanieAkcji(akcja, t));
  t ← t+1;
  return akcja; }
```

**UtwórzZdanieObserwacji()** – pobiera obserwację i indeks czasu a następnie generuje **zdanie** w języku bazy wiedzy reprezentujące fakt obserwacji w danej chwili czasu.

**UtwórzZapytanieAkcji()** – pobiera indeks czasu i generuje zdanie w języku bazy wiedzy będące zapytaniem o to, jaką akcję należy wykonać.

**UtwórzZdanieAkcji()** – generuje zdanie w języku bazy wiedzy reprezentujące wykonaną akcję w danej chwili czasu.

# 3. Język reprezentacji wiedzy

**Składnia języka** – reguły tworzenia zdań języka/

**Semantyka języka** – znaczenie symboli i wartość zdań języka.

**Ontologia.** Czemu odpowiadają symbole języka w rzeczywistym świecie?

**Epistemologia.** Jak agent odbiera (ocenia) elementy świata?  
Jakie wartości przyjmują jednostki wiedzy ?

# Ontologia i epistemologia języka

Język	Ontologia	Epistemologia
Rachunek zdań	Fakty	true/ false/ unknown
Logika predykatów (1 rzędu)	Fakty, obiekty, relacje	true/ false/ unknown
Logika temporalna	Fakty, obiekty, relacje (wiedza niepełna)	true/ false/ unknown
Teoria probabilistyczna	Fakty (wiedza niepewna)	Rozkład prawdopodobieństwa
Logika rozmyta	Fakty (wiedza niedokładna)	Stopień przynależności <0, 1>

# Składnia i semantyka języka

- **Składnia języka** L podaje reguły tworzenia poprawnych zdań języka (nazywanych też *formułami*).
- **Semantyka języka** L definiuje „**znaczenie**” zdań (formuł):
  - Podaje znaczenie wszystkich symboli **X** języka L (czyli zawiera pewne odwzorowanie:  
 $X \rightarrow \{\text{elementy modelowanego świata}\}$ );
  - Podaje sposób, w jaki zdaniom (formułom) można przypisać znaczenie, co z kolei pozwala określić ich wartość.

**Przykład.** Język działań arytmetycznych jest **językiem logiki**. Zasady składni mówią np., że  $(x+2 \geq y)$  jest zdaniem, a  $(x^2+y > \{\})$  nie jest zdaniem tego języka. Z kolei zasady semantyki mówią np., że:

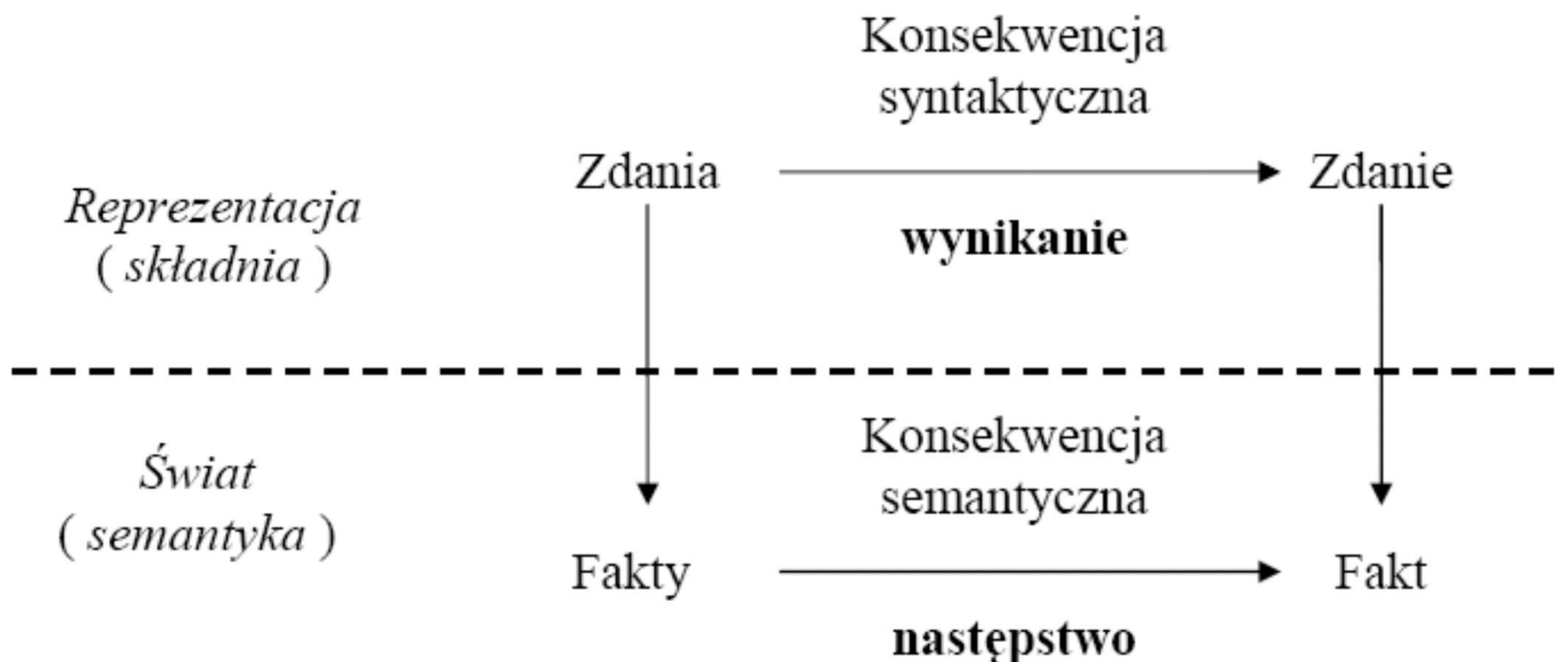
$x+2 \geq y$  jest prawdziwe wtw. liczba  $x+2$  jest nie mniejsza niż liczba  $y$ ;

$x+2 \geq y$  jest prawdziwe w świecie, w którym  $x = 7$ ,  $y = 1$ ;

$x+2 \geq y$  jest fałszywe w świecie, w którym  $x = 0$ ,  $y = 6$ .

# 4. System logicznego wnioskowania

**Wynikanie** (ang. *entailment*) jest związkiem pomiędzy **zdaniem** (tzn. elementami **składni** języka reprezentacji wiedzy), które odzwierciedla **następstwo** (*konsekwencję semantyczną*) odpowiadających im faktów w modelowanym świecie.



# Model świata a wynikanie

- **Model** dla zbioru zdań  $X$  - każdy **świat**, w którym prawdziwe są wszystkie zdania ze zbioru  $X$ .
- **Wynikanie**: zdanie  $A$  **wynika** ze zbioru zdań  $X$ ,  
co zaznaczamy  $X \models A$ ,  
jeśli  $A$  jest **prawdziwe** w każdym modelu dla  $X$ .
- Z **bazy wiedzy**  $KB$  **wynika** zdanie  $\alpha$  wtw. gdy  $\alpha$  jest **prawdziwe dla wszystkich zdań**, które w  $KB$  uznane są za prawdziwe. Oznaczamy to:  $KB \models \alpha$   
Np. baza wiedzy  $KB$  zawiera zdania “Legia wygrała mecz” i “Wisła wygrała mecz”. Z nich wynika zdanie  
“Legia wygrała mecz **lub** Wisła wygrała mecz”.
- **Zdania równoważne** w pewnym świecie są specyficznym przypadkiem wynikania. Np. ze zdania  $(x+y=4)$  wynika, że  $(4=x+y)$ , a w *matematyce* są to zdania równoważne.

# Modele w logice

**Modele** w logice: formalnie zdefiniowane **światy**, względem których można określać to co jest **prawdziwe** a co **nie**.

Niech  $M(\alpha)$  będzie zbiorem wszystkich modeli zdania  $\alpha$

Wtedy:

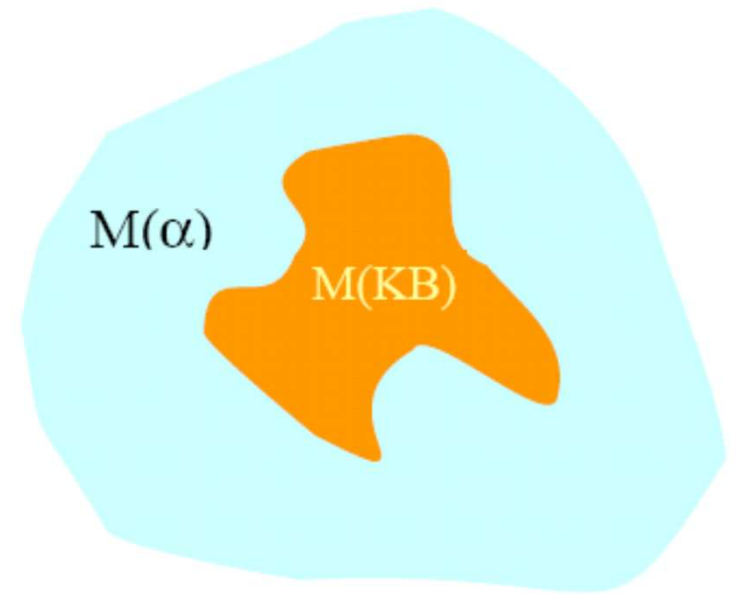
$$KB \models \alpha \text{ wtw. } M(KB) \subseteq M(\alpha)$$

Np.  $KB =$

$\{„Legia wygrała”, „Wisła wygrała”\}$

$\alpha = \{„Wisła wygrała”\}$

Każdy świat, w którym spełnione są zdania  $KB$  jest pod-światem świata, w którym spełnione jest zdanie  $\alpha$ .





# Wnioskowanie w logice

- **Wnioskowanie** (*inference*) występuje w 2 postaciach:
  - 1) Proces **wyprowadzania** (generowania) **nowych zdań ze zdań** przyjętych za prawdziwe (tzn. reprezentujących prawdziwe fakty).
  - 2) Proces **sprawdzenia** (dowód), czy zdanie  $A$  wynika ze zbioru zdań  $X$ , tzn. czy zachodzi  $X \models A$ .
- Dla danego języka logicznego możemy zdefiniować pojęcie **wyprowadzalności zdań** (konsekwencja syntaktyczna, *derivability*): zdanie  $A$  **jest wyprowadzalne** ze zbioru zdań  $X$  przy użyciu procedury wnioskowania (dowodzenia)  $\Pi$ , co oznaczymy jako  $X \vdash_{\Pi} A$ , wtw. gdy  $\Pi$  wyprowadza (znajduje dowód zdania)  $A$  ze zdań zbioru  $X$ .
- Podobnie powiemy,  $KB \vdash_i \alpha$ , że zdanie  $\alpha$  **jest wyprowadzalne** z bazy wiedzy  $KB$  przy użyciu procedury  $i$ .

# Poprawna i zupełna procedura wnioskowania

## Poprawność procedury wnioskowania

Procedura wnioskowania  $\Pi$  jest poprawna wtedy i tylko wtedy (wtw.) gdy dla każdego zbioru zdań  $X$  i każdego zdania  $A$ :

$X \vdash_{\Pi} A$  pociąga za sobą  $X \models A$ .

## Zupełność procedury wnioskowania

Procedura wnioskowania  $\Pi$  jest zupełna wtw. gdy dla każdego zbioru zdań  $X$  i każdego zdania  $A$ :

$X \models A$  pociąga za sobą  $X \vdash_{\Pi} A$ .

# System wnioskowania

- **System wnioskowania** odpowiada na pytanie o prawdziwość formuł badając *wynikanie* pewnych zdań (formuł) z innych zadanych zdań (formuł).
- **Pokazanie (sprawdzenie)** relacji wynikania zachodzącej pomiędzy formułami nazywamy **wnioskowaniem**.
- **System logicznego wnioskowania** (system logiki) to formalny aparat umożliwiający prowadzenie procesu wnioskowania. Dla każdego języka logiki, można zaproponować wiele różnych procedur wnioskowania – sam język nie wyznacza unikalnego mechanizmu wnioskowania, którym można się posługiwać.
- Typowy system logicznego wnioskowania polega na stosowaniu **reguł wnioskowania**, czyli formuł zawsze prawdziwych (tautologie języka).

# Logika

**Logika** opiera się o języki formalne przeznaczone do takiej reprezentacji informacji, z której można **wyciągać wnioski**.

**Logika** - język reprezentacji wiedzy (syntaktyka, semantyka) i system wnioskowania (dedukcji).

Zdefiniujemy języki **logiki** takie, jak *rachunek zdań* i *logika pierwszego rzędu*, które są

- wystarczająco „mocne” aby wyrazić większość interesujących nas rzeczy i
- dla których istnieje **poprawna i zupełna** procedura wnioskowania.

# 5. Przeszukiwanie przestrzeni stanów

**Sterowanie** wybiera akcje (decyzje) w oparciu o stan bazy wiedzy i zadany **cel**. W ogólnym przypadku akcje wybierane są w wyniku **przeszukiwania przestrzeni stanów problemu**.

Aby móc stosować wybrany **algorytm przeszukiwania** należy swój problem odwzorować w postaci:

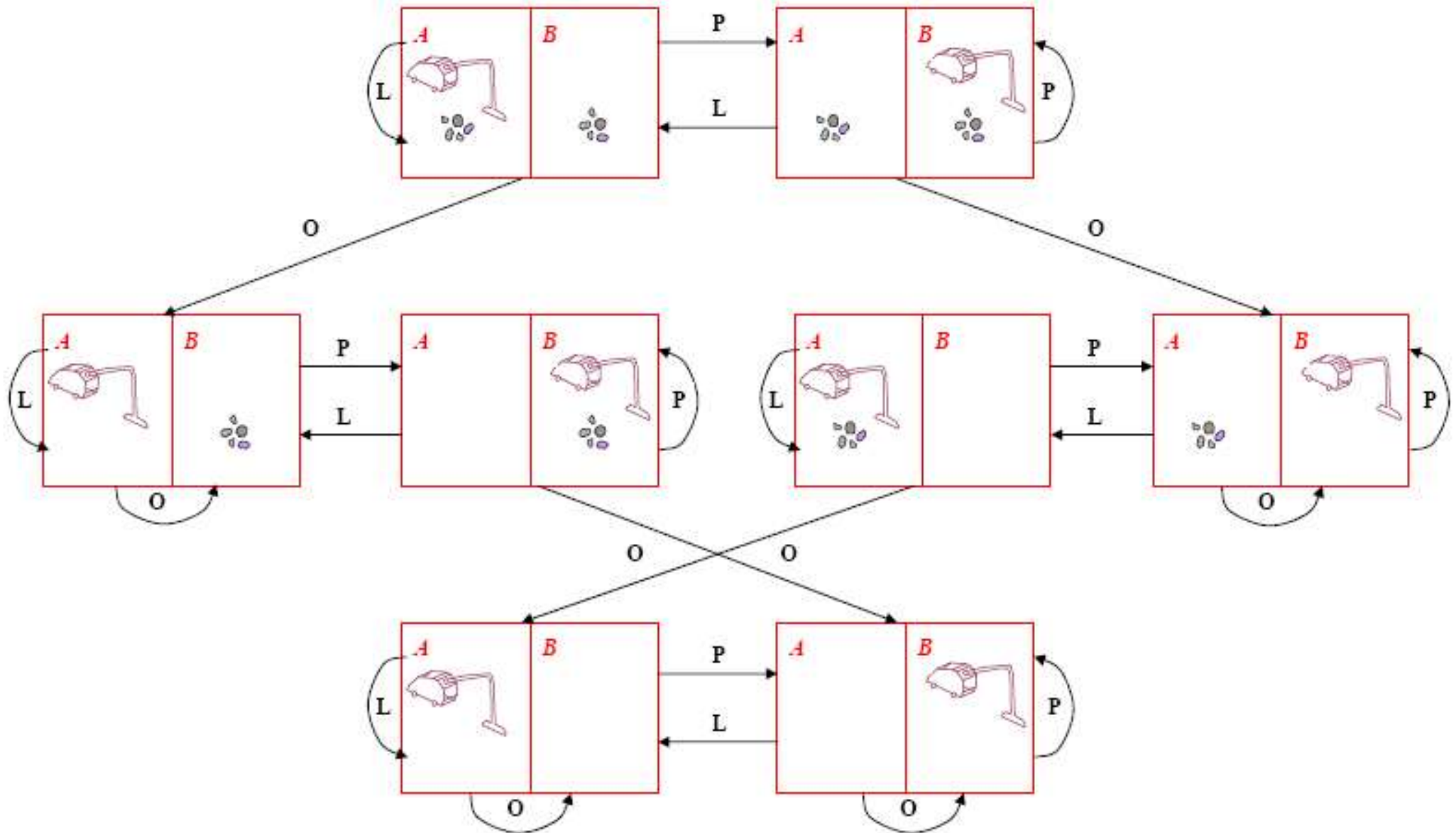
1. **celu** (inaczej podać **warunki zatrzymania - stopu**),
2. wyznaczyć (zwykle niejawnie) przestrzeń **stanów problemu** i
3. wyznaczyć zbiór wykonywanych **akcji systemu** odpowiadających operacjom przejścia pomiędzy stanami w powyższej przestrzeni.

# Przestrzeń stanów – przykład

„Agent odkurzający”:

- **Stany:** wyznaczone przez stopnie zabrudzenia obu krater i pozycję odkurzacza,
- **Akcje:** *w lewo (L)*, *w prawo (P)*, odkurzanie (O).
- **Warunek stopu:** wszystkie komórki czyste (brak brudu).
- **Koszt akcji:** 1 za każdą akcję.

# Przestrzeń stanów – przykład (2)



# 6. Uczenie

## Cele uczenia :

- eksploracja nieznanego środowiska – nabywanie wiedzy o świecie (np. akwizycja modelu obiektu);
  - tzn. wtedy, gdy projektant systemu nie dysponuje pełną informacją o środowisku.
- uczenie sposobu wyboru akcji;
  - tzn. wystawiamy system na oddziaływanie realnego środowiska, zamiast od razu w pełni specyfikować jego zasady działania.

Uczenie zmienia mechanizm decyzyjny systemu w celu poprawy skuteczności jego działania – tu także potrzebne jest stosowanie **przeszukiwania** i funkcji **użyteczności** dla w trakcie procesu uczenia.



# Sposoby uczenia

Projekt modułu uczącego zależy od tego:

- jaki element funkcji systemu jest modyfikowany;
- jaki rodzaj sprzężenia zwrotnego stosujemy podczas uczenia;
- jaki sposób reprezentacji wiedzy stosujemy.

Rodzaje sprzężenia zwrotnego:

- Uczenie z nadzorem (*supervised learning*): istnieją prawidłowe (wzorcowe) odpowiedzi dla każdego przykładu uczącego;
- Uczenie ze wzmacnianiem (*reinforcement learning*): brak wzorcowej odpowiedzi ale istnieje krytyk nagradzający "dobre" akcje (zbliżające agenta do prawidłowego stanu);
- Uczenie bez nadzoru (*unsupervised learning*): brak wzorcowych odpowiedzi, brak krytyka.

# Pytania

1. Wyjaśnić cztery definicje pojęcia „inteligencji”.
2. Jakie są zasadnicze **zastosowania** sztucznej inteligencji w informatyce?
3. Omówić zasadę pracy **systemu z bazą wiedzy** i główne funkcje komunikowania się sterowania z bazą wiedzy.
4. Wyjaśnić pojęcia: „**wynikanie**” i „**wnioskowanie**” formuł”. Zilustrować odpowiedź na przykładach ze świata matematyki.
5. Omówić pojęcie **przeszukiwania przestrzeni stanów** jako uniwersalnego sposobu rozwiązywania problemów.
6. Jakie są główne **sposoby uczenia** w systemie Szt. Int.?