



POLITECHNIKA WARSZAWSKA
WYDZIAŁ MECHANICZNY ENERGETYKI I LOTNICTWA



WPROWADZENIE ***DO SZTUCZNEJ INTELIGENCJI***

NS 586

Dr inż. Franciszek Dul

10. REPREZENTACJA WIEDZY O ŚWIECIE

Reprezentacja wiedzy

Pokażemy, w jaki sposób reprezentuje się w języku logiki pierwszego rzędu najważniejsze aspekty świata: przestrzeń, czas, działania, zdarzenia.

Omówimy systemy ekspertowe, które wspomagają człowieka w korzystaniu z wiedzy i przy podejmowaniu decyzji.

Jak opisać świat w języku FOL?

W języku logiki pierwszego rzędu można łatwo opisać prosty układ logiczny lub świat Wumpusa.

Jednak nawet wtedy są problemy, gdyż logika „niczego nie wie” o świecie – nawet tego, że $1 \neq 0$.

Opis świata rzeczywistego jest nieporównanie bardziej skomplikowany, gdyż:

- istnieje niezliczone mnóstwo różnych rzeczy,
- między rzeczami zachodzą skomplikowane relacje,
- w świecie występują zdarzenia,
- świat się zmienia (ewoluuje).

Aby ująć całą złożoność świata w języku FOL należy posłużyć się **ontologią wyższą**, pozwalającą kategoryzować i systematyzować obiekty i zdarzenia.

Jest to zagadnienie **reprezentacji wiedzy**.

Jak opisać świat w języku FOL?

Zasadnicza trudność reprezentacji świata polega na tym, że jego opis logiczny musi być zupełny.

Logika nie ma wbudowanego zestawu faktów domyślnych – **model świata zamkniętego**.

Człowiek rozumuje przyjmując wiele faktów jako domyślnych – **model świata otwartego**.

Pominięcie pewnych faktów może prowadzić do błędnych wniosków.

Trzeba więc znaleźć reprezentację faktów i reguł domyślnych która jest zupełna a zarazem efektywna.

10.1. Inżynieria ontologiczna

Ontologia (*metafizyka*, „*Nauka o wszystkim co istnieje*”) jest działem filozofii odpowiadającym na pytania dotyczące struktury rzeczywistości: przedmiotów, czasu, przestrzeni...

Inżynieria ontologiczna (OE) zajmuje się problemem ogólnej a zarazem elastycznej reprezentacji świata.

- OE rozważa takie pojęcia jak: działania, czas, obiekty fizyczne, ale także np. wiarygodność.
- OE można uważać za uogólnienie Inżynierii Wiedzy (KE)

Każda reprezentacja logiczna świata ma jednak ograniczenia.

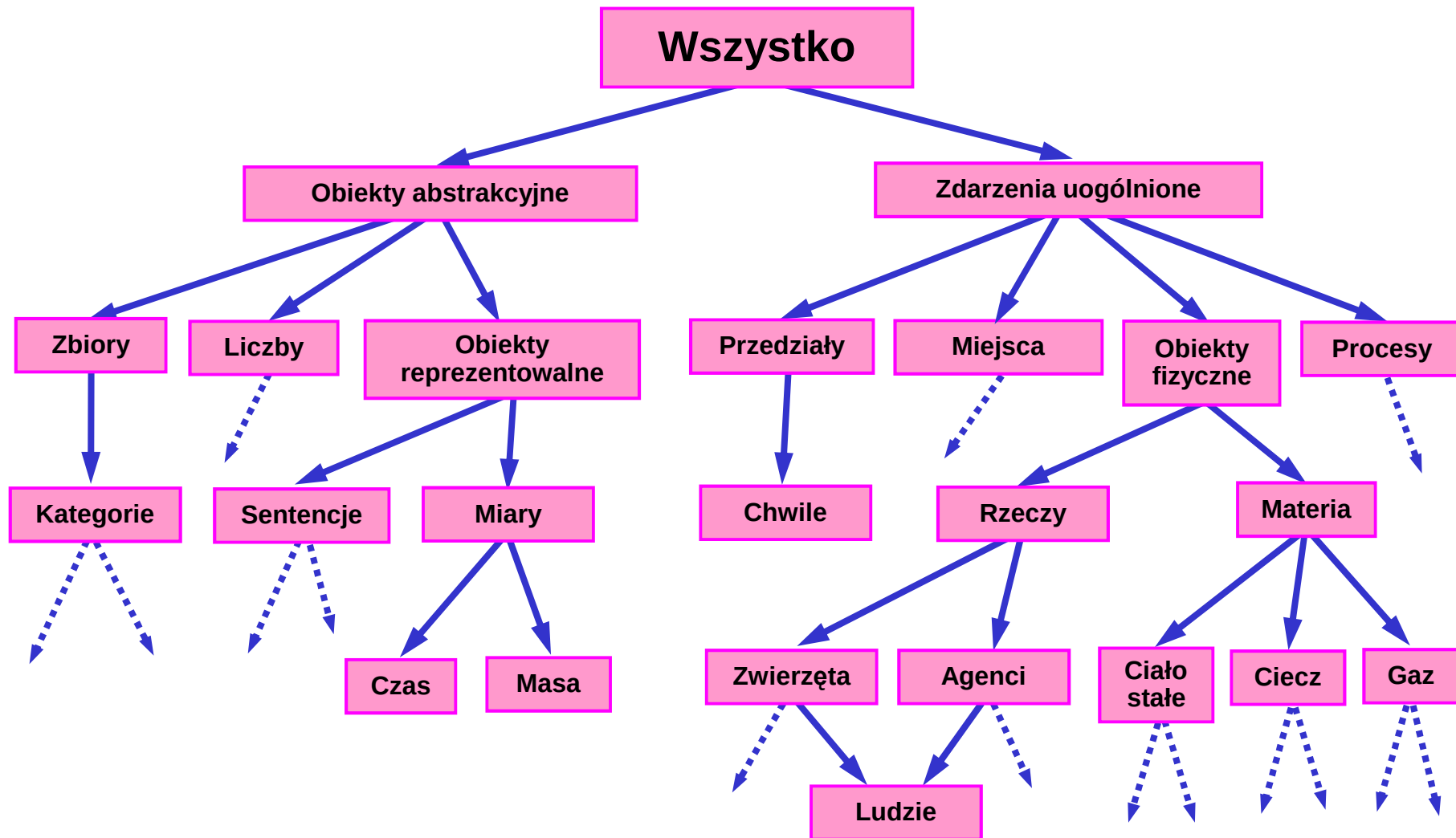
Problemami reprezentacji są **wyjątki i niepewność określeń**.

Przykład: pomidor jest zwykle czerwony i okrągły, ale może być też zielony, żółty, pomarańczowy; owoce mogą znacznie różnić się kształtami, wielkością, itp.

Ontologia wyższa (*upper ontology*):

- definiuje ogólne ramy dla koncepcji dotyczących reprezentacji świata.
- definiuje i klasyfikuje w sposób hierarchiczny obiekty i zdarzenia występujące w świecie.

Ontologia wyższa świata (tylko niewielka jej część)



Każda koncepcja poziomu niższego jest *specjalizacją* koncepcji poziomu wyższego.

Cechy i zadania ontologii wyższej

- Ontologia wyższa obejmuje różnorodne elementy:
 - *Kategorie, Miary, Obiekty złożone,*
 - *Czas, Przestrzeń,*
 - *Zmiany, Zdarzenia, Procesy,*
 - *Obiekty fizyczne, Substancje, Obiekty mentalne,*
 - *Poglądy,...*
- Ontologia ogólna powinna dać się zastosować do każdej dziedziny szczegółowej.
- Do opisu dziedziny szczegółowej należy dodać aksjomaty słuszne dla tej dziedziny.
- Opis dziedziny szczegółowej wymaga łączenia różnych obszarów wiedzy.

Wymaga to komplementarności (przystawania) opisów (np. opisów czasu i przestrzeni).

10.2. Kategorie i obiekty

Reprezentacja wiedzy wymaga podzielenia obiektów na kategorie.

Kategoria jest zbiorem (swoich) elementów.

Wnioskowanie prowadzi się na poziomie kategorii.

Kategorie pozwalają identyfikować obiekty na podstawie postrzeganych własności, np.

Okrągły $\wedge$ Czerwony $\wedge$ Miękki $\wedge$ Połyskujący $\Rightarrow$ Pomidor

Kategorie mogą być reprezentowane w logice pierwszego rzędu na dwa sposoby:

- jako predykaty:

Pomidor(x)

- poprzez sprowadzanie kategorii do zbiorów obiektów:

Pomidory

Organizacja kategorii

Kategorie związane są *relacją dziedziczenia*, np.:

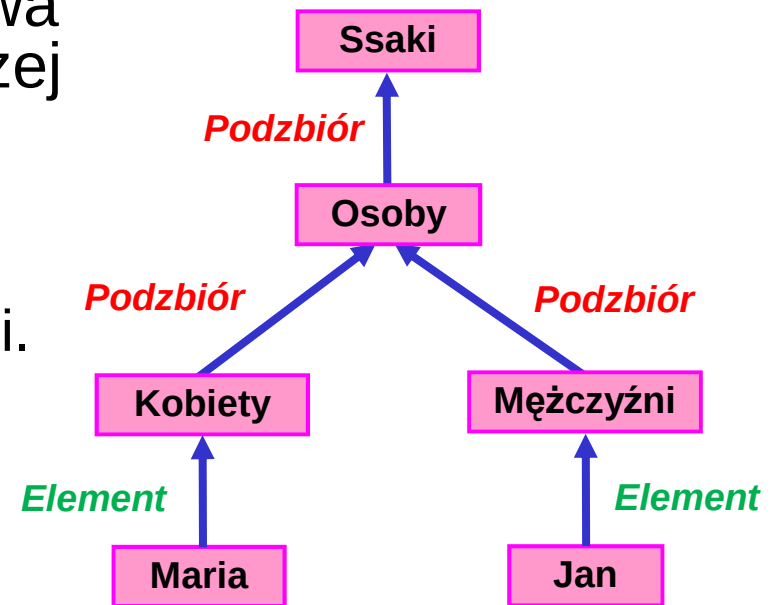
- każdy egzemplarz żywności jest jadalny;
- owoc jest podklasą żywności;
- jabłko jest podklasą owoców;
- zatem jabłko jest jadalne.

Definiowanie systematyki poprzez relacje kategorii

Każda kategoria bardziej szczegółowa dziedziczy cechy kategorii ogólniejszej z której się wywodzi.

Przykład

Kobiety dziedziczą cechy *osób*, np. wzrost, wagę; podobnie mężczyźni. Kobiety i mężczyźni mają też jednak pewne cechy odmienne...



Opis kategorii w logice pierwszego rzędu

Obiekt jest **elementem** kategorii

Element(BB_{12} , PiłkaDoKoszykówki)

Kategoria może być **podklasą** innej kategorii

Podzbiór(PiłkaDoKoszykówki , Piłki)

Wszystkie elementy kategorii mają pewne **własności**

$\forall x \text{ Element}(x, \text{PiłkaDoKoszykówki}) \Rightarrow \text{Okrągły}(x)$

Wszystkie elementy kategorii **mogą być rozpoznane** po pewnych własnościach

$\forall x (\text{Pomarańczowy}(x) \wedge \text{Okrągły}(x) \wedge \text{Średnica}(x)=24.5 \text{ cm} \wedge \text{Element}(x, \text{Piłki}) \Rightarrow \text{Element}(x, \text{PiłkaDoKoszykówki}))$

Kategoria **jako całość** ma pewne własności

Element(Piłki , SąSprężyste)

Miary

Obiekty mają *wysokość, masę, cenę,*

Wartości przypisane tym cechom to **miary**

Funkcje liczbowe określające jednostki miar:

$$\textit{Długość}(L_1) = \textit{Cale}(1.5) = \textit{Centymetry}(3.81).$$

Konwersje pomiędzy jednostkami:

$$\forall i \textit{Centymetry}(2.54 \times i) = \textit{Cale}(i).$$

Miary mogą posłużyć do opisu obiektów:

$$\textit{Średnica}(\textit{PiłkaDoKosza}_{12}) = \textit{Cale}(9.5).$$

Niektóre miary nie mają skali:

$$\textit{Piękno}, \textit{Trudność}, \dots$$

Najważniejsza cecha miar: **mogą służyć do porządkowania.**

Substancje i obiekty

Świat składa się z obiektów prostych i złożonych.

Pewne obiekty są niepodzielne (np. krzesło),
zaś inne są podzielne (np. masło).

Obiekty niepodzielne to **rzeczy** (*things*)

domy, koty, twierdzenia, ...

zaś podzielne to **materia** (*stuff*),

woda, energia, masło,

Reprezentacja materii w języku FOL.

„Każda część masła jest masłem”

$x \in \text{Masło} \wedge \text{Część}(y, x) \Rightarrow y \in \text{Masło}.$

Niektóre własności są wewnętrzne (*intrinsic*) i niepodzielne

gęstość, kolor, zapach, temperatura topnienia, ...

zaś inne – zewnętrzne (*extrinsic*)

masa, długość, kształt, ...

Materia ma **tylko** własności wewnętrzne.

Rzecz jest to każdy obiekt mający **choć jedną** własność zewnętrzną.

Rodzaje naturalne

Niektóre kategorie są zdefiniowane ściśle, np. trójkąty.

Wiele kategorii nie ma jednak precyzyjnych definicji, np. krzesło, krzak, książka, ...

Pomidory mogą być czerwone, zielone, żółte; zazwyczaj są okrągłe.

Kategorie takie stanowią **rodzaje naturalne**.

Kategoria **Typowe** określa podstawowe cechy elementów kategorii naturalnej c ,

$$\text{Typowe}(c) \subseteq c.$$

Przykład

$$\forall x, x \in \text{Typowe}(\text{Pomidory}) \Rightarrow \text{Czerwony}(x) \wedge \text{Kulisty}(x).$$

Za pomocą kategorii *Typowe* można opisać ważne fakty dotyczące kategorii bez formułowania ścisłych definicji.

Użyteczność pojęcia **ściśła definicja** jest ograniczona.

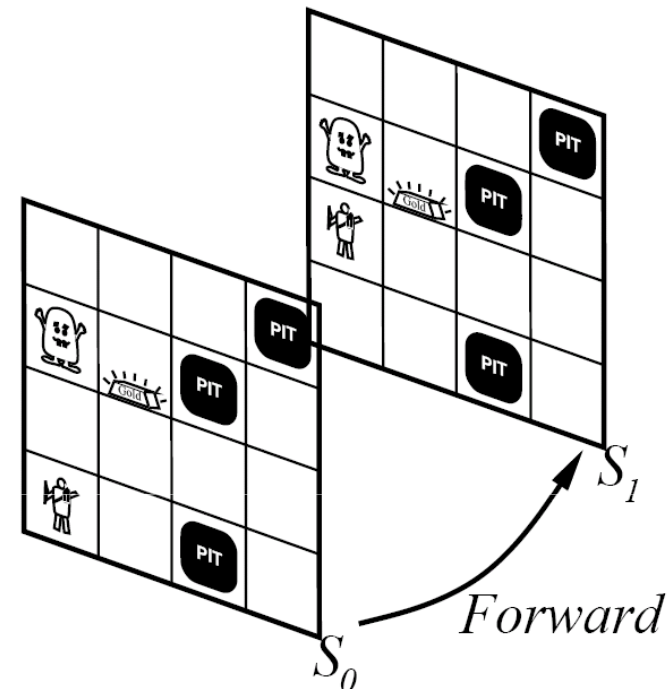
Stwierdzenie “*Papież jest kawalerem*”, które wynika z definicji ścisłej, jest niezbyt fortunne...

10.3. Działania, zdarzenia i sytuacje

Wnioskowanie o wyniku działania jest podstawą działania agenta z bazą wiedzy.

Jak można śledzić zmiany świata w logice pierwszego rzędu?

Należy określić stan świata w każdej chwili.



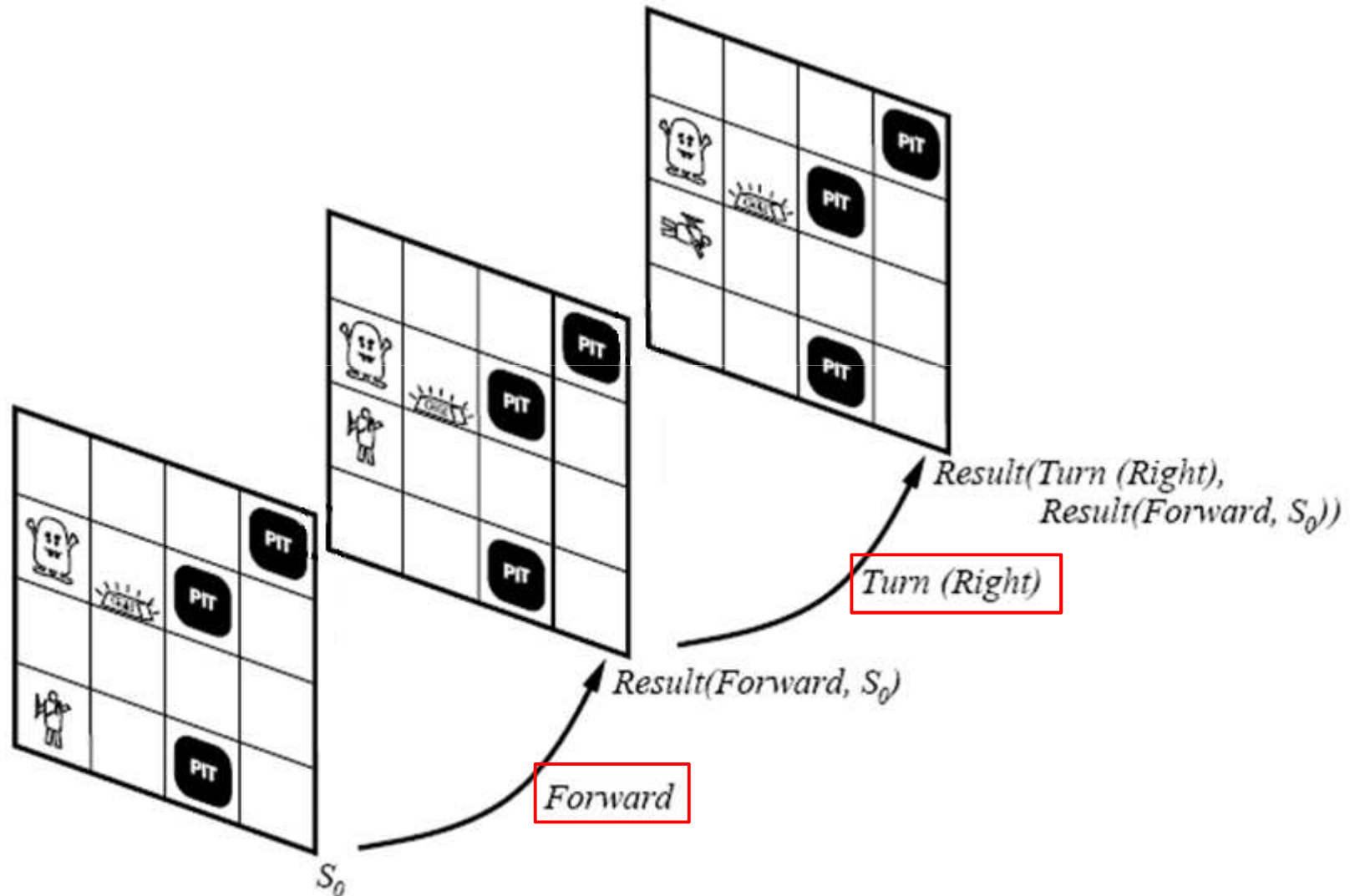
Sytuacje są to zdarzenia zmieniające się dyskretnie w czasie.

Sytuacje „przeskakują” od zdarzenia do zdarzenia – stan nie może się zmienić pomiędzy zdarzeniami.

Rachunek sytuacji opisuje zmiany sytuacji w wyniku wykonania kolejnych działań.

10.3. Działania, zdarzenia i sytuacje

W rachunku sytuacji każda sytuacja (z wyjątkiem początkowej) jest wynikiem pewnego działania.



Zasady rachunku sytuacji

Rachunek sytuacji opisuje zdarzenia **dyskretne w czasie**.

Działania są wyrażeniami logicznymi, np. *Skręć(WPrawo)*.

Sytuacje są wyrażeniami logicznymi złożonymi z:

- sytuacji początkowej S_0
- wszystkich sytuacji wynikających z działań a wykonanych w sytuacjach s ,
Wynik(a,s) [lub *Zrób(a,s)*]

Potoki (*fluent*) są to funkcje i predykaty które zmieniają się z sytuacji na sytuację, np. *Trzymanie(G_1 , S_0)*

Wynik ciągu działań jest określony przez poszczególne działania.

Zadania rachunku sytuacji

- *Zadanie projektowania*: wywnioskować wynik danego ciągu działań.
- *Zadanie planowania*: znaleźć ciąg działań który zapewnia pożądany wynik.

Rachunek zdarzeń

Rachunek zdarzeń opisuje stany zmieniające się w czasie w sposób ciągły i jest uogólnieniem rachunku sytuacji.

W rachunku zdarzeń istnieje możliwość zaistnienia pewnego zdarzenia *w dowolnej chwili* t .

W rachunku zdarzeń można mówić o chwili,

WydarzyłoSię(Wyłącz(Światło) ,17:00)

o przedziale czasu,

WydarzyłoSię(Wykład(SztucznaInteligencja) , [16:00,18:00])

o ciągłej zmianie zdarzeń...

Rachunek zdarzeń pozwala uwzględnić: zdarzenia równoczesne, losowość, ograniczenia, itp...

Równania fizyki: Druga Zasada Newtona, równania Naviera-Stokesa, równania Maxwella i inne, *mogą być uważane za szczególne przypadki rachunku zdarzeń.*

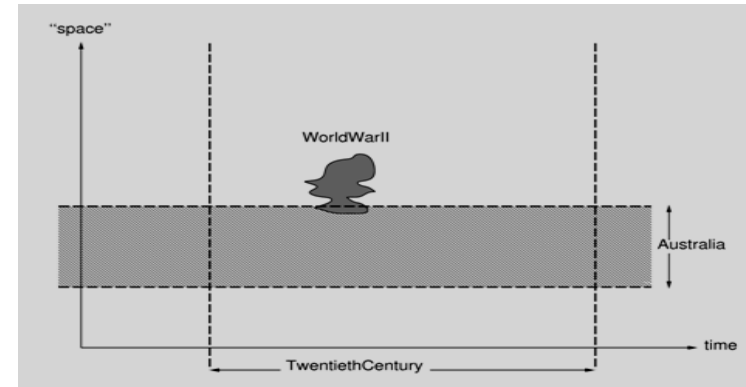
Zdarzenia uogólnione

Zdarzenie uogólnione jest elementem czasoprzestrzeni, złożonym ze zdarzeń działań, miejsca, czasu, potoków oraz obiektów.

Przykład „*Druga wojna światowa*”

Podzdarzenia (subevents) są elementami zdarzenia uogólnionego.

Przykład *Podzdarzenie (Bitwa o Anglię, Druga Wojna Światowa)*



Procesy są to zdarzenia zmieniające się w czasie w sposób ciągły.

Procesy różnią się tym od zdarzeń, czym materia różni się od rzeczy.

Skrypty są to opisy zdarzeń typowych (wzorców), w których kolejne zdarzenia („odstony”) i działania mają z góry określoną sekwencję.

Przykłady: *procesy produkcyjne, obrzędy*, itp.

Skrypty pozwalają wyodrębniać podobne sytuacje powtarzalne, co upraszcza opis i analizę zdarzeń.

10.4. Obiekty i zdarzenia mentalne

Agent może mieć poglądy i wyciągać wnioski prowadzące do nowych poglądów.

Agent powinien też przewidywać, co myślą inni agenci.

Wymaga to modeli stanów myślowych w czyjejs głowie oraz procesów zmieniających te stany.

Obiekty mentalne to takie stany mentalne w czyjejs głowie (lub w bazie wiedzy), jak: *wiedza*, *przekonania*, *potrzeby*.

Zdarzenia mentalne to procesy wnioskowania w których uczestniczą obiekty mentalne.

Wiedza i przekonanie agenta a na temat zdania p :

$$Wie(a,p), \quad Wierzy(a,p).$$

Relacja pomiędzy wiedzą a przekonaniem: jeżeli jest się *przekonanym* o czymś i jeżeli to jest *prawda*, to się to *wie*,

$$Wierzy(a,p) \wedge p \Rightarrow Wie(a,p).$$

Czyjeś przekonanie może być zapisane za pomocą aksjomatu rachunku zdarzeń:

$$T(Wierzy(Jan , UFO(Leci)) , Dzisiaj).$$

10.6. Systemy wnioskowania dla kategorii

Kategorie stanowią podstawowe cegiełki dla reprezentacji złożonych systemów wiedzy.

Istnieją dwa rodzaje reprezentacji i wnioskowania dla kategorii: **sieci semantyczne** i **logika opisowa**.

Sieci semantyczne:

- umożliwiają wizualizację bazy wiedzy;
- zawierają efektywne algorytmy wnioskowania o własnościach elementów na podstawie ich przynależności do kategorii.

Logika opisowa:

- używa języka formalnego do budowania i łączenia definicji kategorii;
- dostarcza efektywnych algorytmów do wyznaczania relacji zawierania pomiędzy kategoriami.

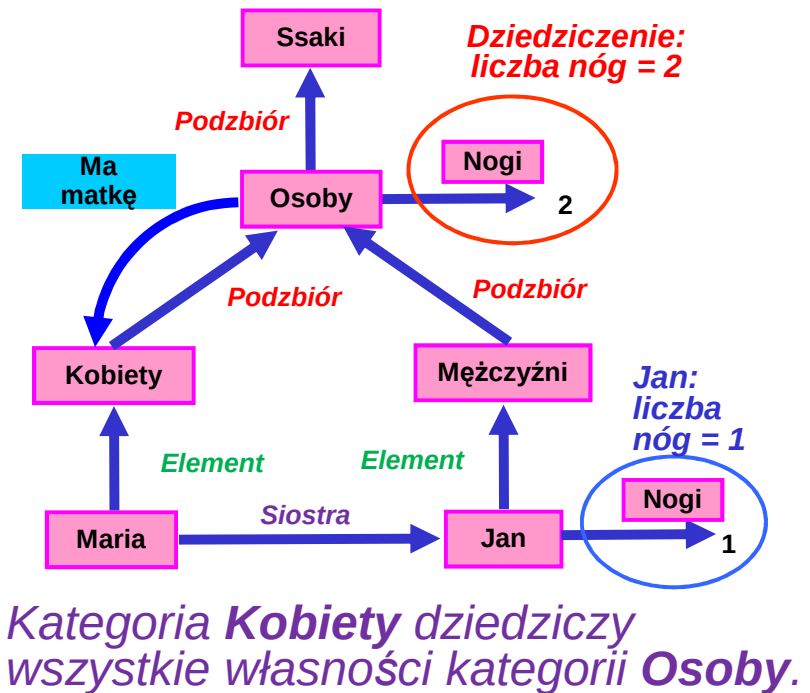
Sieci semantyczne

Sieci semantyczne reprezentują graficznie obiekty, kategorie obiektów oraz relacje pomiędzy obiektami.

Sieci semantyczne stanowią alternatywę opisu logicznego.

Sieci semantyczne umożliwiają wnioskowanie z dziedziczeniem.

(Programowanie OO – np. C++).



Ramy - ogólną postacią sieci semantycznych, wprowadzoną do AI przez Minsky'ego – typowe schematy opisujące ontologię wybranej części świata, możliwie szczegółowo.

Ramy pozwalają porządkować wiedzę o świecie, zwłaszcza w sytuacjach które są dla agenta nowe – „ujęcie w ramach schematu”.

Logika opisowa

Logika opisowa (*description logic*) została opracowana specjalnie do opisu kategorii.

Logika opisowa powstała jako formalizacja sieci semantycznych.

Najważniejszymi zadaniami logiki opisowej są:

- **Subsumpcja**: sprawdzanie czy dana kategoria jest podzbiorem innej kategorii poprzez porównanie ich definicji.
- **Klasyfikacja**: sprawdzanie czy dany obiekt należy do kategorii.
- **Badanie zgodności**: czy kryteria przynależności do kategorii są logiczne spełnialne.

Najważniejszym aspektem logiki opisowej jest możliwość przeprowadzenia wnioskowania automatycznego.

Wadą logiki opisowej jest nieobsługiwanie przez nią negacji i alternatywy.

10.8. Systemy utrzymywania prawdy

Wiele wnioskowań ma charakter przybliżony – ich wyniki nie są absolutnie pewne.

Wywnioskowane fakty mogą być zatem fałszywe i powinny być wycofane z bazy (**weryfikacja poglądu**).

Założmy że baza wiedzy KB zawiera zdanie P i chcemy dodać do niej zdanie $\neg P$;

$TELL(KB, \neg P) \rightarrow$ sprzeczność.

Aby uniknąć sprzeczności należy wycofać błędne zdanie z bazy wiedzy; **$Wycofać(KB, P)$.**

Pojawia się jednak problem ze zdaniami wywnioskowanymi wcześniej ze zdania P .

Do rozwiązywania takich problemów służą **systemy utrzymywania prawdy** (*truth maintenance systems*).

Systemy utrzymywania prawdy zawierają **mechanizmy wyjaśniające** – pozwalające wyznaczyć zbiór wszystkich zdań pociągających zdanie P .

10.9. Projekt powszechnej ontologii świata CYC®

Projekt **CYC**® (*enCYClopedia*) ma na celu stworzenie obszernej ontologii oraz bazy danych dla ogólnej i potocznej wiedzy o świecie, umożliwiającej wnioskowanie automatyczne na podobieństwo ludzkiego.

Stan aktualny: baza wiedzy zawiera **ponad milion** faktów, reguł oraz pojęć potocznych, np. „*Every tree is a plant*”.

Wiedza zapisana jest w języku **CycL** opartym na rachunku predykatów, podobnym do języka LISP.

W zamierzeniu docelowym CYC ma umożliwiać komunikację z użytkownikiem w języku naturalnym oraz **ma się uczyć**.

Podzbiór **OpenCYC** jest bazą uproszczoną, dostępną na zasadach licencji *Open Source*.

Projekt CYC jest jednak krytykowany jako zbyt ambitny.

Systemy ekspertowe

Wiedza na temat każdej dziedziny jest bardzo cenna, gdyż pozwala określić racjonalne działania.

Ogrom zgromadzonej wiedzy oraz subtelne nieraz zależności pomiędzy jej składnikami powodują, że korzystanie z niej jest procesem bardzo żmudnym.

Efektywne wykorzystanie wiedzy wymaga więc narzędzi wspomagających, które pozwolą ogarnąć całość oraz wyciągać skomplikowane wnioski.

Narzędziami umożliwiającymi kompleksowe wykorzystywanie wiedzy są **systemy ekspertowe**.

Podstawę systemów ekspertowych stanowią: język logiki oraz ontologia wyższa świata.

10.10. Systemy ekspertowe

Systemy ekspertowe (*eksperckie, z bazą wiedzy*) są to programy wspomagające korzystanie z wiedzy i ułatwiające podejmowanie decyzji.

System ekspertowy może być uważany za **model ekspertyzy** złożony z **bazy wiedzy** i **procedury wnioskowania logicznego**.

Cechy systemy ekspertowych:

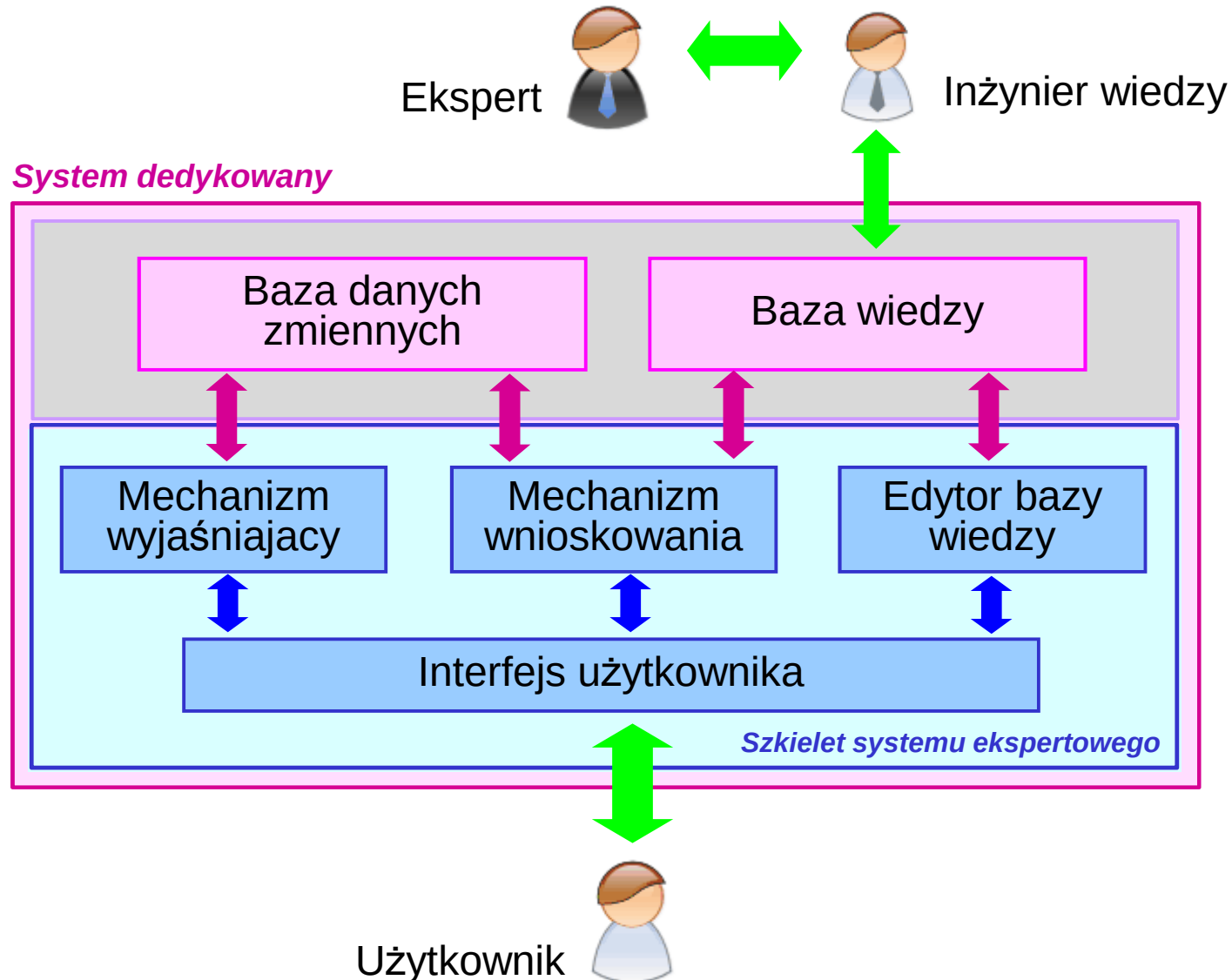
- są wąsko wyspecjalizowane,
- mogą wspomagać lub nawet zastępować ekspertów w danej dziedzinie,
- mogą dostarczać rad, zaleceń i diagnoz dotyczących problemów z określonej dziedziny.

Systemy ekspertowe są tworzone przez inżynierów wiedzy w ramach metod inżynierii ontologicznej.

Źródła informacji i dane dla systemów ekspertowych:

- wiedza ekspertów danej dziedziny,
- heurystyki (dla domysłów, przypuszczeń, itp.),
- modele używane w danej dziedzinie,
- analiza wcześniejszych rozwiązań.

Struktura systemu ekspertowego



Elementy systemu ekspertowego:

- **Szkielet systemu** w skład którego wchodzi:
 - **Mechanizm wnioskowania (maszyna wnioskująca)**
Główny składnik systemu ekspertowego wykonujący cały proces rozumowania w trakcie rozwiązywania problemu postawionego przez użytkownika;
 - **Interfejs użytkownika**
Umożliwia udzielanie informacji systemowi (*TELL*) oraz zadawanie pytań, odbieranie od systemu odpowiedzi i wyjaśnień (*ASK*);
 - **Edytor bazy wiedzy**
Pozwala modyfikować wiedzę zawartą w systemie, umożliwiając tym samym jego rozbudowę;
 - **Mechanizm wyjaśniający**
Element interfejsu użytkownika, który umożliwia uzyskanie informacji:
 - dlaczego system udzielił takiej, a nie innej odpowiedzi,
 - dlaczego system zadał użytkownikowi określone pytanie.

Elementy systemu ekspertowego:

- Baza wiedzy

Deklaratywna postać wiedzy ekspertów z danej dziedziny zapisana za pomocą wybranego sposobu *reprezentacji wiedzy*, najczęściej *reguła* lub *ram*.

- Baza danych zmiennych

Pamięć robocza przechowującą pewne fakty wprowadzone w trakcie dialogu z użytkownikiem; Umożliwia odtworzenie sposobu wnioskowania systemu i przedstawienie go użytkownikowi za pomocą mechanizmu wyjaśniającego.

Pozyskiwaniem wiedzy od *ekspertów*  zajmują się *inżynierowie wiedzy*. 

Pozyskiwanie wiedzy to zwykle długi i żmudny proces, gdyż wiedza stosowana przez ekspertów ma charakter intuicyjny i praktyczny, często trudny do werbalizacji.

Klasyfikacja systemów ekspertowych:

- Rodzaj bazy wiedzy
 - oparta na regułach (*rule-based systems*),
 - oparta na modelu (*model-based systems*),
 - oparta na wcześniejszych rozwiązaniach (*case-based systems*).
- Charakter przetwarzanej wiedzy:
 - pewna (prawda/fałsz),
 - niepewna, reprezentowana za pomocą:
 - logiki wielowartościowej,
 - logiki rozmytej,
 - współczynników stopnia pewności,
 - metod statystycznych.
- Sposób działania:
 - off-line,
 - on-line - systemy czasu rzeczywistego.
- Uniwersalność:
 - systemy dedykowane, tworzone dla konkretnego zastosowania,
 - systemy szkieletowe.

Zadania realizowane przez systemy ekspertowe:

- **Interpretacja** – formułowanie wniosków lub opisów na podstawie „surowych” danych.
- **Predykcja** – przewidywanie skutków danego stanu.
- **Diagnoza** – określanie przyczyn złego funkcjonowania na podstawie objawów.
- **Projektowanie** – znajdowanie konfiguracji elementów systemu spełniających warunki projektu.
- **Planowanie** – wyznaczanie ciągu działań które pozwolą osiągnąć cel.
- **Monitorowanie** – porównywanie rzeczywistego zachowania systemu z założonym.
- **Instruowanie** – wykrywanie i poprawianie błędów uczniów.
- **Sterowanie** – sterowanie złożonymi systemami.

Zasady bazy wiedzy opartej na regułach

W skład regułowej bazy wiedzy wchodzi:

- **Fakty** (asercje) – uznane za prawdziwe informacje dotyczące opisywanej dziedziny.
- **Reguły** – związki zachodzące między faktami w formie
JEŻELI *⟨przesłanka⟩* **TO** *⟨wniosek⟩*

Przesłankami i wnioskami w regułach są fakty.

Wnioskowanie polega na realizacji („**odpaleniu**”) reguły.

Odpalenie reguły następuje wtedy, gdy jej przesłanki występują w bazie faktów i są prawdziwe.

Wniosek wynikający z odpalonej reguły jest dodawany do bazy faktów.

Wniosek jednej reguły może stanowić przesłankę dla innej – jest to **wniosek pośredni**.

Wniosek, który stanowi odpowiedź na zadane pytanie jest **wnioskiem końcowym**.

Reprezentacja reguł

Reguły mogą być reprezentowane:

- jako zbiór warunków **JEŻELI** *⟨przesłanka⟩* **TO** *⟨wniosek⟩*,
- w postaci **drzewa decyzyjnego**.

Drzewo decyzyjne jest to graficzna postać reguł obrazująca powiązania pomiędzy faktami.

Przykład Drzewo decyzyjne diagnozy rozruchu samochodu



Uwzględnianie niepewności faktów i reguł

Niepewność wiedzy może być reprezentowana na różne sposoby: probabilistycznie, logiką wielowartościową, logiką rozmytą oraz stopniem pewności.

Stopień pewności pozwala uwzględnić wiedzę heurystyczną, intuicyjną lub przybliżoną.

Każdemu faktowi i każdej regule przyporządkowany jest **współczynnik pewności** (*certainty factor, CF*) z przedziału $[-1, 1]$, przy czym:

- 1 oznacza, że fakt lub reguła jest **nieprawdziwa**,
- 0 oznacza, że stopień prawdziwości faktu lub reguły jest **nieokreślony**,
- +1 oznacza, że fakt lub reguła jest **prawdziwa**.

Przy wnioskowaniu reguły wybierane są w kolejności zależnej od stopnia ich prawdziwości.

Współczynniki pewności faktów są określone *a priori* lub też są zdefiniowane przez użytkownika.

Współczynniki pewności wniosków są wyznaczane na podstawie współczynników pewności przesłanek oraz współczynnika pewności reguły, z której wynikają.

Maszyna wnioskująca

Maszyna wnioskująca (*kontroler wywodu, inference engine*) jest to program prowadzący wnioskowanie.

Na podstawie faktów i reguł maszyna wnioskująca generuje nowe fakty będące odpowiedziami na pytania użytkownika.

Podstawową zasadą wnioskowania jest reguła *modus ponens*,

$$\frac{A, (A \Rightarrow B)}{B}$$

Wnioskowanie może być prowadzone:

- *bez hipotezy* - generowanie nowych faktów tak długo, aż zostaną odpalone wszystkie możliwe reguły;
Pytanie „*Co wynika z X?*”
- *z hipotezą* - weryfikacja (udowodnienie) konkretnej hipotezy na podstawie faktów zawartych w bazie wiedzy;
Pytanie „*Czy jest prawdą, że Y?*”

Podstawowe algorytmy wnioskowania:

- w przód;
 - wnioskowania z hipotezą lub bez.
- wstecz;
 - tylko wnioskowania z hipotezą.
- mieszane;
 - rodzaj wnioskowania przełączany w zależności od reguły.

Algorytm wnioskowania

- Znalezienie kolejnej reguły możliwej do odpalenia,
 - kolejność wyboru reguł zależy od przyjętej strategii
- Odpalenie reguły ($\equiv$ użycie reguły w procesie dowodzenia),
- Dodanie uzyskanych wniosków do bazy wiedzy,
- Koniec, gdy:
 - znaleziono odpowiedź (wnioskowanie z hipotezą),
 - wszystkie reguły zostały odpalone (bez hipotezy).

Przykład wnioskowania

Baza reguł:

$$R_1: P \wedge Q \Rightarrow S$$

$$R_2: S \wedge T \Rightarrow U$$

$$R_3: R \Rightarrow T$$

$$R_4: S \wedge R \Rightarrow V$$

Baza faktów

$$BF = \{ P, Q, R \}$$

Wnioskowanie w przód (bez hipotezy)

Można odpalić reguły R_1 i R_3 .

Odpalenie reguły R_1 ;

Wynik $BF = \{ P, Q, R, S \}$

Można odpalić reguły R_3 i R_4

Odpalenie reguły R_3 ;

Wynik $BF = \{ P, Q, R, S, T \}$

Można odpalić reguły R_2 i R_4

Odpalenie reguły R_2 ;

Wynik $BF = \{ P, Q, R, S, T, U \}$

Można odpalić regułę R_4

Odpalenie reguły R_4 ;

Wynik $BF = \{ P, Q, R, S, T, U, V \}$

Wnioskowanie wstecz (z hipotezą V)

Hipoteza: V

Czy $V \in BF$? $\rightarrow$ **NIE**

Hipoteza jest wnioskiem R_4

Należy sprawdzić jej przesłanki:

Czy $S \in BF$? $\rightarrow$ **NIE**

Hipoteza robocza: S

Hipoteza robocza jest wnioskiem R_1

Należy sprawdzić jej przesłanki:

Czy $P \in BF$? $\rightarrow$ **TAK**

Czy $Q \in BF$? $\rightarrow$ **TAK**

Odpalić regułę R_1

Hipoteza robocza S została udowodniona,

$$BF = \{ P, Q, R, S \}$$

Czy $R \in BF$? $\rightarrow$ **TAK**

Odpalić regułę R_4

Hipoteza V została udowodniona, $BF = \{ P, Q, R, S, V \}$

Zalety stosowania systemów ekspertowych:

- Naturalna reprezentacja wiedzy, łatwa do zrozumienia przez użytkownika systemu;
- Łatwość modyfikacji i rozbudowy bazy wiedzy;
- Możliwość przyrostowego tworzenia systemu;
- Porządkowanie i kodyfikowanie wiedzy ekspertów;
- Rozwiązywanie specjalistycznych problemów jakościowych w których istotne jest doświadczenie;
- Zwiększenie dostępności fachowej ekspertyzy – dobra rzadkiego i kosztownego.
- Łączą wiedzę wielu ekspertów, mogą więc przewyższać wiedzą pojedynczego eksperta;
- Stabilność i powtarzalność ekspertyz;
- Niezależność ekspertyz od czynników zewnętrznych;

Niektóre zastosowania systemów ekspertowych:

- diagnozowanie chorób,
- poszukiwanie złóż minerałów,
- identyfikacja struktur molekularnych,
- udzielanie porad prawnych,
- diagnozy problemów eksploatacyjnych (np. nieprawidłowego działania urządzeń),
- dokonywanie wycen i kalkulacji kosztów przez firmy ubezpieczeniowe,
- prognozowanie pogody,
- sterowanie robotami, pojazdami automatycznymi, samolotami, statkami kosmicznymi,
- analiza notowań giełdowych,
- doradztwo personalne, ...

Systemy ekspertowe w medycynie

- **MYCIN** (1972) Stanford University
System diagnozujący zakażenia krwi i pomagający dobrać właściwy antybiotyk.
- **PUFF** (1979)
System pomocy przy diagnozie niewydolności płuc.
- **INTERNIST / CADUCEUS** (1974 / 1984)
Wspomaganie diagnoz większości chorób wewnętrznych.
- **BABY**
Monitorowanie intensywnej opieki medycznej noworodków
- **QMR** (1988) (Quick Medical Record)
Wspomaga diagnozy ponad 4000 chorób

Systemy ekspertowe w chemii, biologii i rolnictwie

- **DENDRAL** (1964) Stanford University
System wspomagający wyznaczanie struktury molekularnej cząstek chemicznych na podstawie danych ze spektrometru masowego.
- **CRYSALIS** (1979)
System wspomagający identyfikację struktury białek na podstawie analizy widmowej i map gęstości elektronowej.
- **CASD**
System wspomagający analizę reakcji chemicznych.
- **MOLGEN**
Planowanie eksperymentów z DNA w genetyce molekularnej.
- **PLANT/ds**
Diagnozy chorób soi.
- **PLANT/cd**
Diagnozy strat w uprawach kukurydzy spowodowanych przez gąsienicę zbożówkę.

Systemy ekspertowe w innych dziedzinach

- **PROSPECTOR** (1978) Stanford University
System dla geologów; pomaga w znajdowaniu rud metali.
- **DESIGN ADVISOR** (1989)
Wspomaganie projektowania układów scalonych.
- **TOP SECRET** (1989)
Klasyfikacja tajnej dokumentacji dotyczącej broni jądrowej.
- **R1/XCON** (1978) Carnegie-Mellon University
Wspomaganie projektowania komputerów VAX w firmie DEC.
- **MACSYMA** (1968)
System algebry symbolicznej.
- **GATES** (1988)
System wspomagania kontroli ruchu lotniczego na lotnisku JFK.
Pomaga przydzielać bramki startującym i lądującym samolotom.
- **INVEST** (1985) Karlsruhe Universitat
System doradztwa inwestycyjnego dla banków.
- **LENDING ADVISOR / UNDERWRITING ADVISOR** (1987)
System konsultacyjny dla banków i firm ubezpieczeniowych;
Doradza przy szacowaniu ryzyka inwestycyjnego.

Systemy ekspertowe

Systemy ekspertowe znajdują szerokie zastosowanie w wielu obszarach działalności człowieka: chemii, medycynie, biologii, bankowości, wojsku, lotnictwie, projektowaniu i innych.

Systemy ekspertowe sprawdzają się zwłaszcza w takich dziedzinach jak np. medycyna, w których brak modeli rekompensowany jest ogromną wiedzą praktyczną, opartą na statystyce i doświadczeniu gromadzonym przez wielu specjalistów w długim okresie czasu.

Zaawansowane systemy ekspertowe często górują jakością formułowanych diagnoz nad ekspertami - ludźmi.

Podsumowanie

- Reprezentacja wiedzy wymaga ontologii ogólnej obejmującej różne obszary wiedzy.
- Ontologia wyższa opiera się na kategoriach oraz rachunku zdarzeń.
- Działania, zdarzenia i czas mogą być reprezentowane zarówno w rachunku sytuacji, jak i bardziej ekspresyjnym rachunku zdarzeń lub procesów.
- Sieci semantyczne oraz logika opisowa służą do reprezentacji kategorii.
- Do efektywnej aktualizacji wiedzy służą systemy utrzymywania prawdy.
- Systemy ekspertowe wykorzystują szeroko ontologię wyższą do reprezentacji wiedzy ogólnej i szczegółowej.