

Sztuczna Inteligencja

Systemy ekspertowe.

Teoria i zastosowania

Włodzisław Duch

Katedra Informatyki Stosowanej, UMK

Google: Włodzisław Duch

Były



- Różne formy reprezentacji wiedzy

Będzie

- Systemy Ekspertowe (ES): co, po co, jak.
- Etapy tworzenia.
- Akwizycja wiedzy.
- Architektury ES.
- Języki programowania ES.
- Przykłady zastosowań.
- Superekspert CYC, SOAR, WATSON

System ekspertowy - definicja

Tradycyjna sztuczna inteligencja to inżynieria wiedzy i systemy ekspertowe, lub systemy oparte na wiedzy (KBS). Wikibooks: [Expert Systems](#)

Uczenie maszynowe to głównie akwizycja wiedzy dla SE.

- System ekspertowy (doradczy, ekspercki):
program komputerowy wykorzystujący wiedzę i procedury wnioskowania do rozwiązywania problemów, które są na tyle trudne, że wymagają znaczącej ekspertyzy specjalistów.
- Wiedza (niezbędna, by zapewnić odpowiedni poziom ekspertyzy), wraz z procedurami wnioskowania stanowi model ekspertyzy, posiadanej przez najlepszych specjalistów w danej dziedzinie.
- Zrobotyzowana Automatyzacja Procesów (RPA) często nie wymaga AI, ale można tu wyróżnić robotyzację kognitywną, np. UIPath.

Program = algorytm + struktury danych.

ES = interfejs użytkownika + wiedza + system wnioskujący.

Wiedza może być w sieci neuronowej, ale preferowane jest rozumiałe AI, czyli XAI.

Po co nam SE?

Dlaczego buduje się SE?

1. Koszty: w dłuższym okresie czasu są znacznie tańsze, pomagają w rozwiązywaniu problemów wymagających najbardziej specjalistycznej (najdroższej) wiedzy.
2. Brak ekspertów w wielu dziedzinach.
3. ES pracują szybciej, nie męczą się, są bardziej niezawodne niż ludzie.
4. Konsekwentne, konsystentne, obiektywne, dokładne.
5. Zawsze do dyspozycji (nie strajkują!).
6. Analiza dużych ilości danych wymaga komputera.

System ekspertowy - schemat

Expert System Architecture

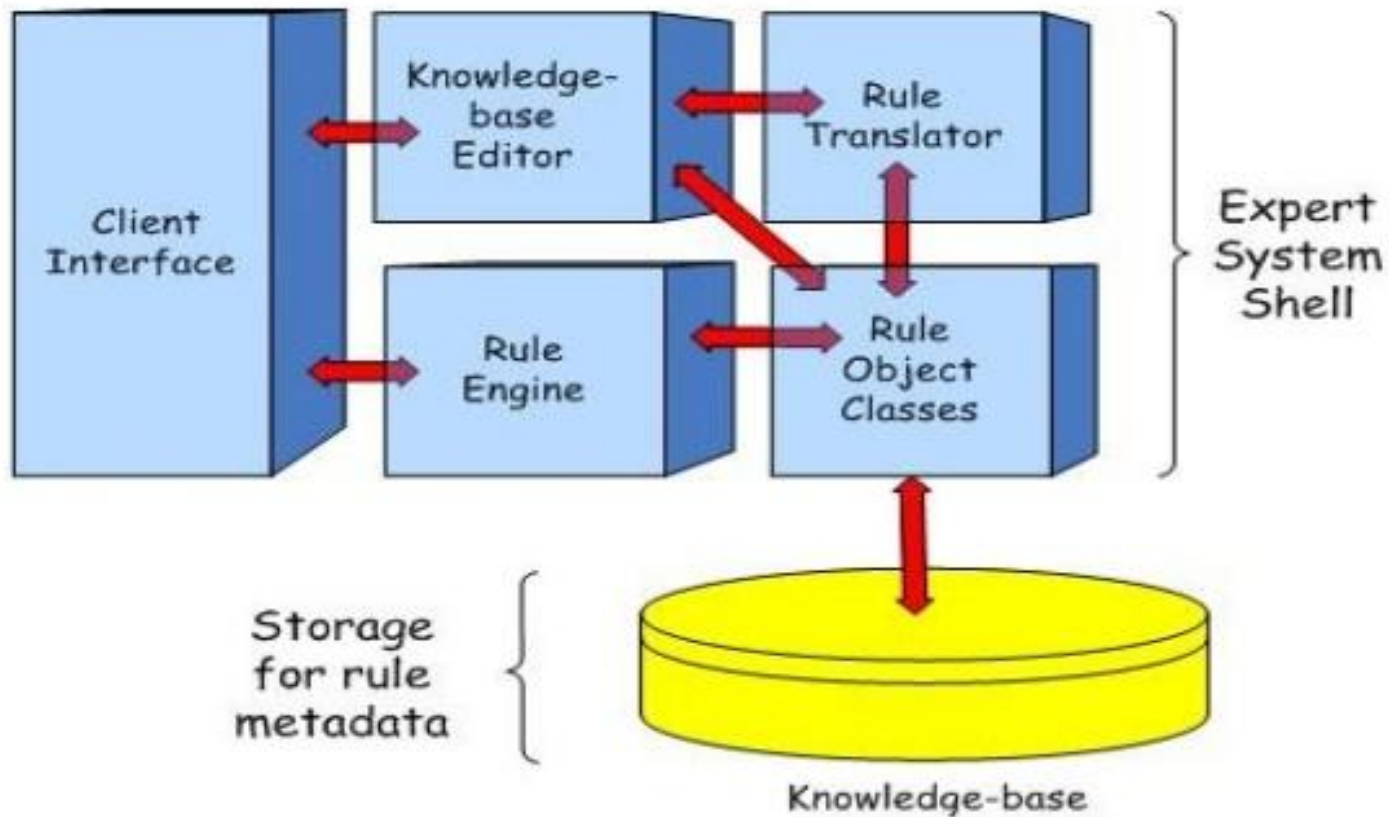


Figure 2 - Expert System Architecture

Etapy tworzenia SE

1. Analiza problemu - oceny, czy budowa SE dla danego problem ma sens, jakie są potencjalne korzyści.
2. Specyfikacja systemu - szczegółowe określenie funkcji i oczekiwań.
3. Akwizycja wiedzy - zgromadzenie, wydobywanie z ekspertów i organizacji potrzebnej wiedzy.
4. Wybór metody reprezentacji wiedzy i narzędzi do budowy systemu.
5. Konstrukcja systemu - utworzenie bazy wiedzy, reguł wnioskowania, systemu wyjaśniającego rozumowanie i prowadzenie dialogu z użytkownikiem.
6. Weryfikacja i testowanie systemu.

Akwizycja wiedzy wymaga transferu ekspertyzy + reprezentacji wiedzy.

Ekspertyza w SE

SE: systemy oparte na wszystkich sposobach reprezentacji wiedzy, najczęściej w postaci reguł produkcji.

Zadanie: udostępniać wiedzę, wspomagać wnioskowanie.

Wiedza systemu ekspertowego składa się z **faktów i heurystyk**.

Fakty: powszechnie akceptowane przez specjalistów.

Heurystyki: informacja subiektywna, która charakteryzuje proces oceny przez określonego specjalistę.

Mogą to być intuicyjne domysły, przypuszczenia, zdroworozsądkowe zasady postępowania, przybliżona teoria.

Poziom ekspertyzy to funkcja rozmiaru i jakości bazy wiedzy danego systemu.

Skomplikowane zadania: opis obrazów, dialog w języku naturalnym, tłumaczenie.

Wiedza nie da się w pełni zalgorytmizować, potrzebne są duże sieci neuronowe.

Postać wiedzy

- **Fakty** z danej dziedziny wiedzy, np:
„W starych silnikach Diesla przy przegrzaniu dochodzi do gwałtownego podwyższenia obrotów na skutek chwilowego spalania oleju.”
- **Reguły** typu: „Przed zdjęciem obudowy wyciągnąć wtyczkę.”
- **Heurystyki**, czyli co by tu zrobić, np.:
„Jak nie zaskakuje, a jest iskra, to warto sprawdzić przewód paliwa”.
- **Ogólne strategie** postępowania.
- **Teoria** danej dziedziny, np. teoria działania silników samochodowych.

Akwizycja wiedzy

- prowadzenie wywiadów z ekspertami;
- analiza kwestionariuszy wypełnianych przez ekspertów;
- analiza raportów pisanych przez ekspertów;
- analiza komentarzy ekspertów wykonywanych w czasie pracy;
- obserwacja ekspertów przy pracy;
- introspekcja + opis działań;
- analiza dużej liczby przykładów ocenionych przez ekspertów za pomocą metod uczenia maszynowego;
- upraszczanie wiedzy zawartej w dużych bazach danych przez poszukiwanie struktur za pomocą metod nienadzorowanego uczenia;
- Internalizacja wiedzy w sieciach neuronowych, destylacja i szukanie w Internecie.

10 kategorii ES

Klasyfikacja Hayes-Roth, Waterman, Lenat (1983)

1. Interpretacja: sensory => fakty
2. Predykcja: konsekwencje obserwacji
3. Diagnoza: przewidywanie i przyczyny problemów
4. Projektowanie: konstrukcje z ograniczeniami
5. Planowanie: sekwencje działań
6. Monitorowanie: porównywanie obserwacji, alarmy
7. Debugowanie: poprawki w złożonych systemach
8. Naprawa: plany naprawcze i ich monitoring
9. Nauczanie: ocena postępów i planowanie materiału
10. Sterowanie: interpretacja i poprawa zachowania systemu

Rodzaje systemów ekspertowych

- Systemy **edukacyjne** typu CAI lub ICAI (Intelligent Computer Aided Instruction), wspomaganie nauczania, systemy algebry symbolicznej.
- Systemy **interpretujące**, wspomagające analizę i interpretację informacji, wydobywanie informacji z baz danych, interpretujące dane geologiczne.
- Systemy **planistyczne** wspomagające strategiczne działanie i planowanie zadań, np. planowanie syntezy związków chemicznych.
- Systemy **prognostyczne**: wyciąganie wniosków i przewidywanie tendencji.
- Systemy **kontrolne** pozwalające na sterowanie skomplikowanymi systemami.
- Systemy **diagnostyczne**: techniczne, medyczne, chemiczne.
- Systemy **testujące**: częścią systemów kontrolnych lub diagnostycznych.
- Systemy **naprawcze**: planują działania korekcyjne, np. zalecające terapię.
- Systemy **projektujące**: projektowanie układów elektronicznych, CAD czy CAM.

5 rodzajów ES

Z punktu widzenia konstrukcji wyróżnia się też:

- 1) Systemy regułowe, oparte na regułach produkcji i logice klasycznej.
- 2) Systemy oparte na ramach i logice klasycznej.
- 3) Systemy wykorzystujące reguły i logikę rozmytą.
- 4) Systemy neuro-rozmyte, odkrywające cechy rozmyte i wnioskujące na ich podstawie.
- 5) Systemy wykorzystujące uczenie maszynowe, wnioskujące bezpośrednio z danych (predyktywna AI).

Konstrukcja systemów ekspertowych

ES ma odpowiadać na pytania na poziomie eksperta.

W wielu zastosowaniach próbuje się oddzielić bazy wiedzy od samych mechanizmów wnioskowania, czyli unikać reprezentacji proceduralnych.

Reguły produkcji:

<obiekt, atrybut, wartość>, np. <samochód, kolor, czerwony>

Stosowane są też ramy, sieci semantyczne, sieci Bayesowskie, reprezentacje bezpośrednie i proceduralne; rzadziej reprezentacje logiczne.

Alternatywy dla ES prowadzących wnioskowanie:

- modele statystyczne,
- symulacje procesów w różnych warunkach, np. rozchodzenia się epidemii,
- modele rozumujące oparte na dużych modelach językowych, czyli Large Language/Multimodal Models (LLM, LMM), np. GPT4-o1, DeepSeek R itp.

Rodzaje rozumowania

DSS (Decision Support Systems), Inteligentne DSS?

Dialog z użytkownikiem + wyjaśnienia sposobów wnioskowania.

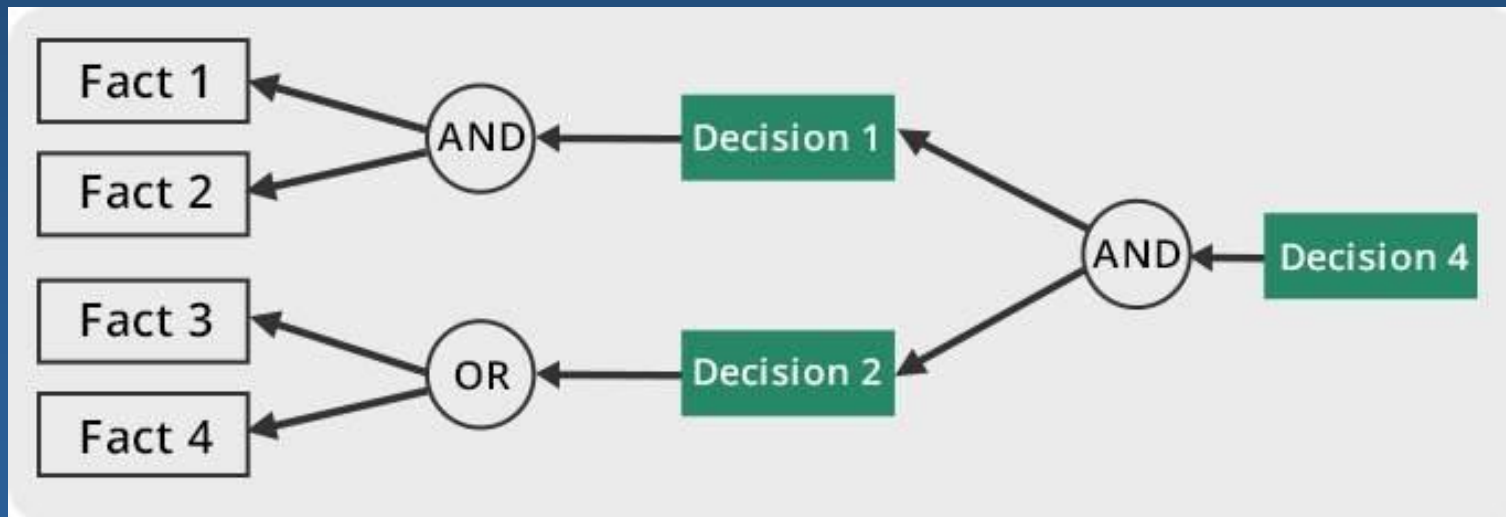
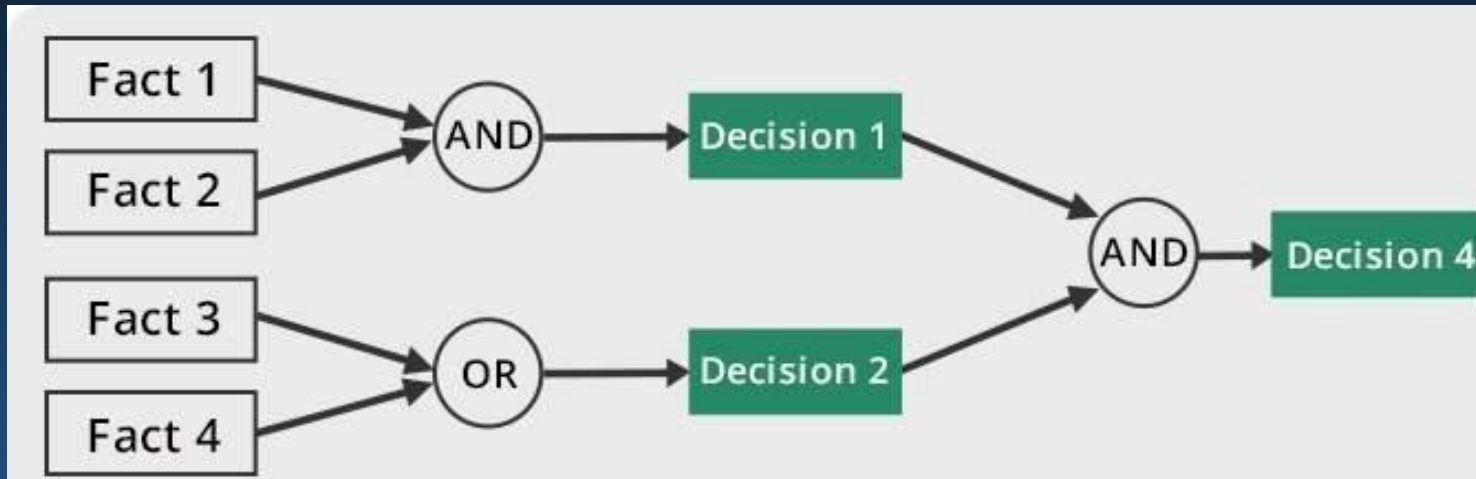
ES nie zawsze rozumują w sposób podobny do człowieka – mają inne ograniczenia „sprzętowe”, ale powinno wyjaśniać decyzje – *explainable AI* stało się jednym z wymogów wraz z akwizycją wiedzy z dużych danych.

Jak wyjaśniać?

- Rozumowanie **retrospektywne** (które reguły i dlaczego).
- Rozumowanie **hipotetyczne** (co by było gdyby ...).
- Rozumowanie „alternatywne” ([counterfactual reasoning](#)):
co jeśli? rozważmy alternatywy: jest S, ale co gdyby było P?
Jeśli P zawsze powoduje S, to gdyby nie było P nie byłoby S.
Szukamy więc czemu nie ma P.
Stanford Encyclopedia, [Counterfactual Theories of Causation](#).
- Niestety LLMy nie wyjaśniają sposobu wnioskowania.

Rodzaje wnioskowania

Wnioskowanie **w przód** (forward chain) i **wstecz** (backward chain)



Rozstrzyganie konfliktów

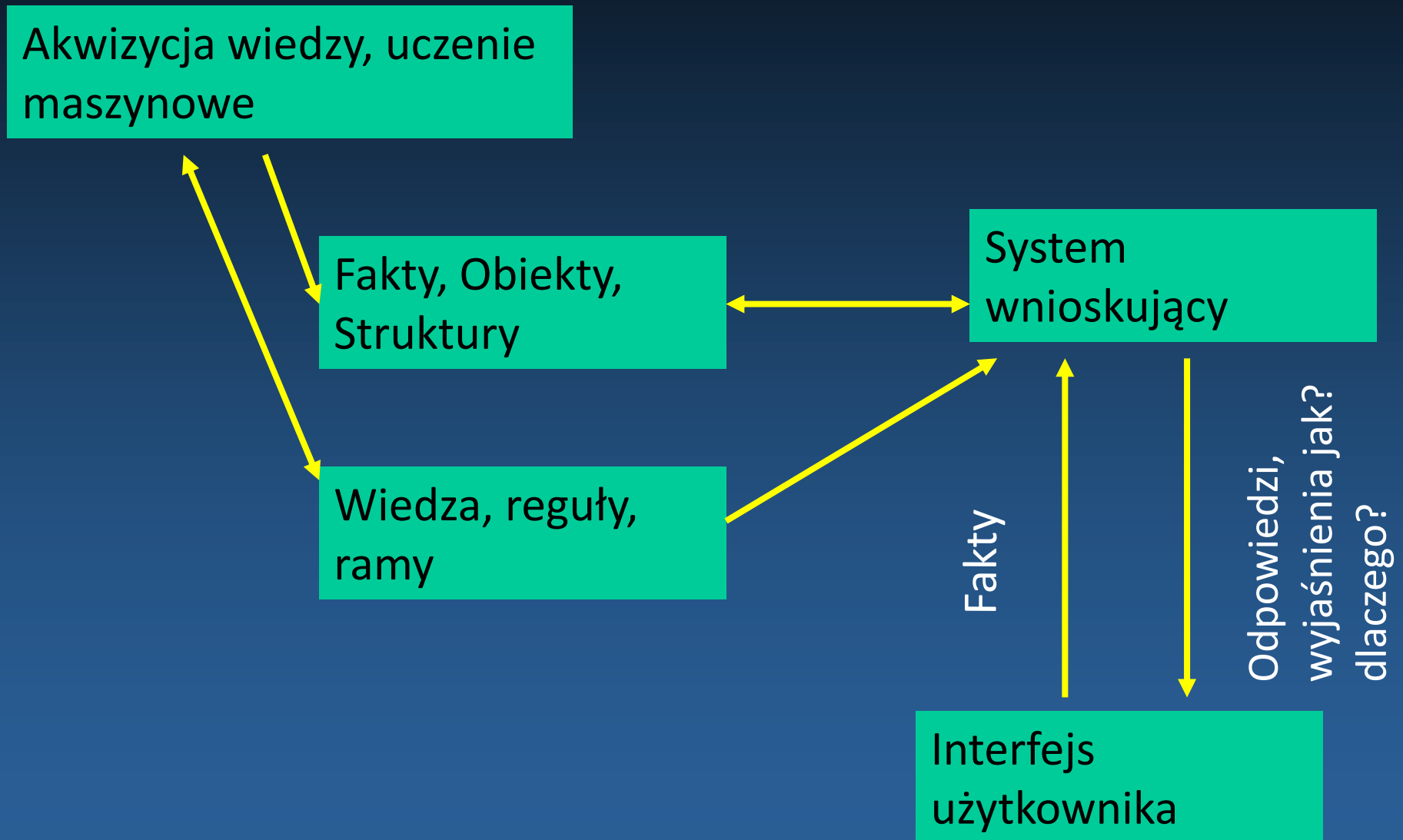
Jeśli kilka reguł daje się zastosować do tej samej sytuacji:

- użyj reguły o najwyższym priorytecie
- użyj reguły która ma najwięcej szczegółowych warunków
- użyj ostatnio wykorzystywaną regułę
- użyj regułę, która została dodana najpóźniej
- użyj regułę zawierającą zmienne, które były ostatnio używane.

Jeśli mamy wagi przesłanek (stopień prawdziwości) to

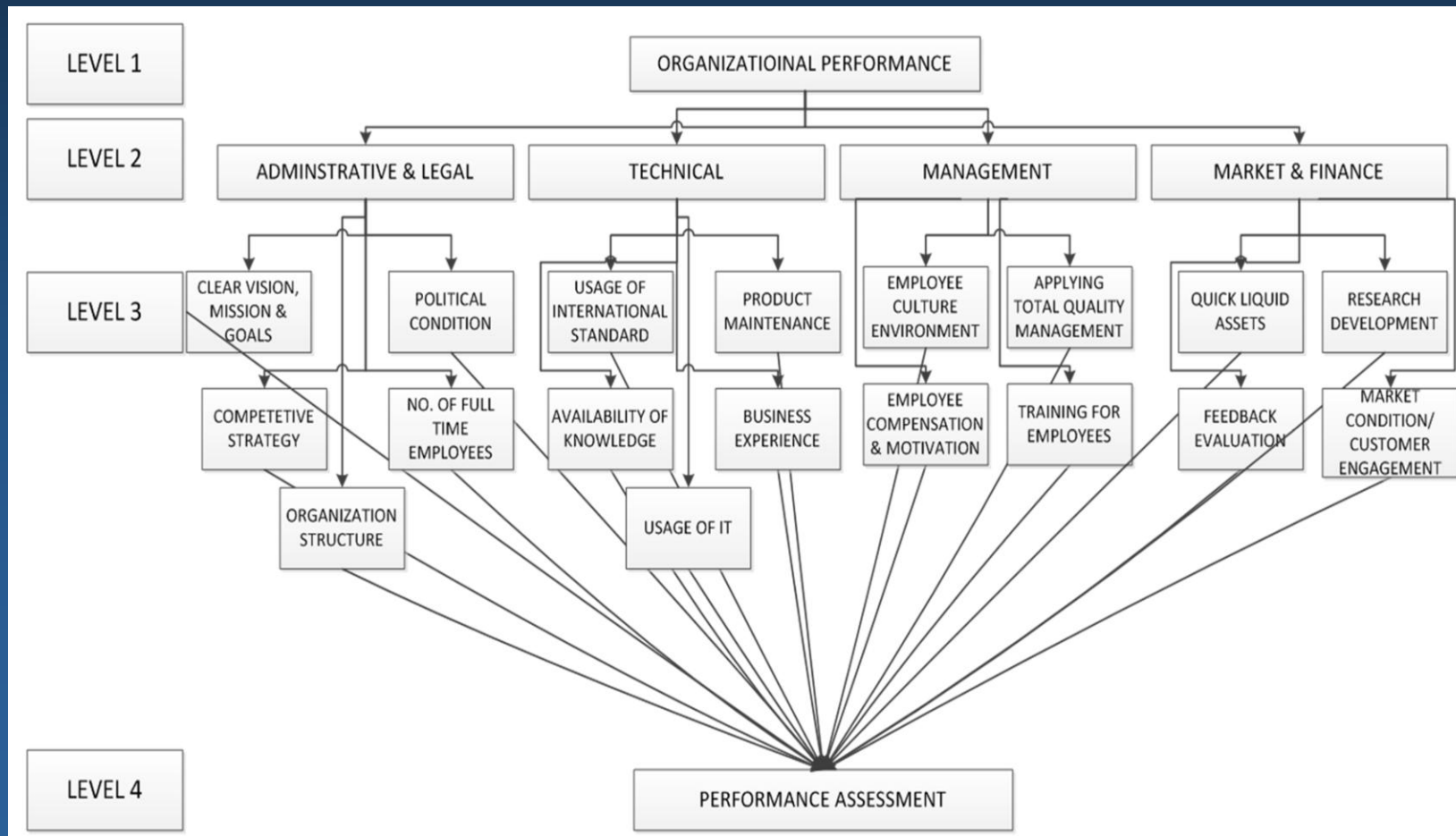
- użyj regułę do której konkluzji masz największe zaufanie.

Ogólna konstrukcja ES



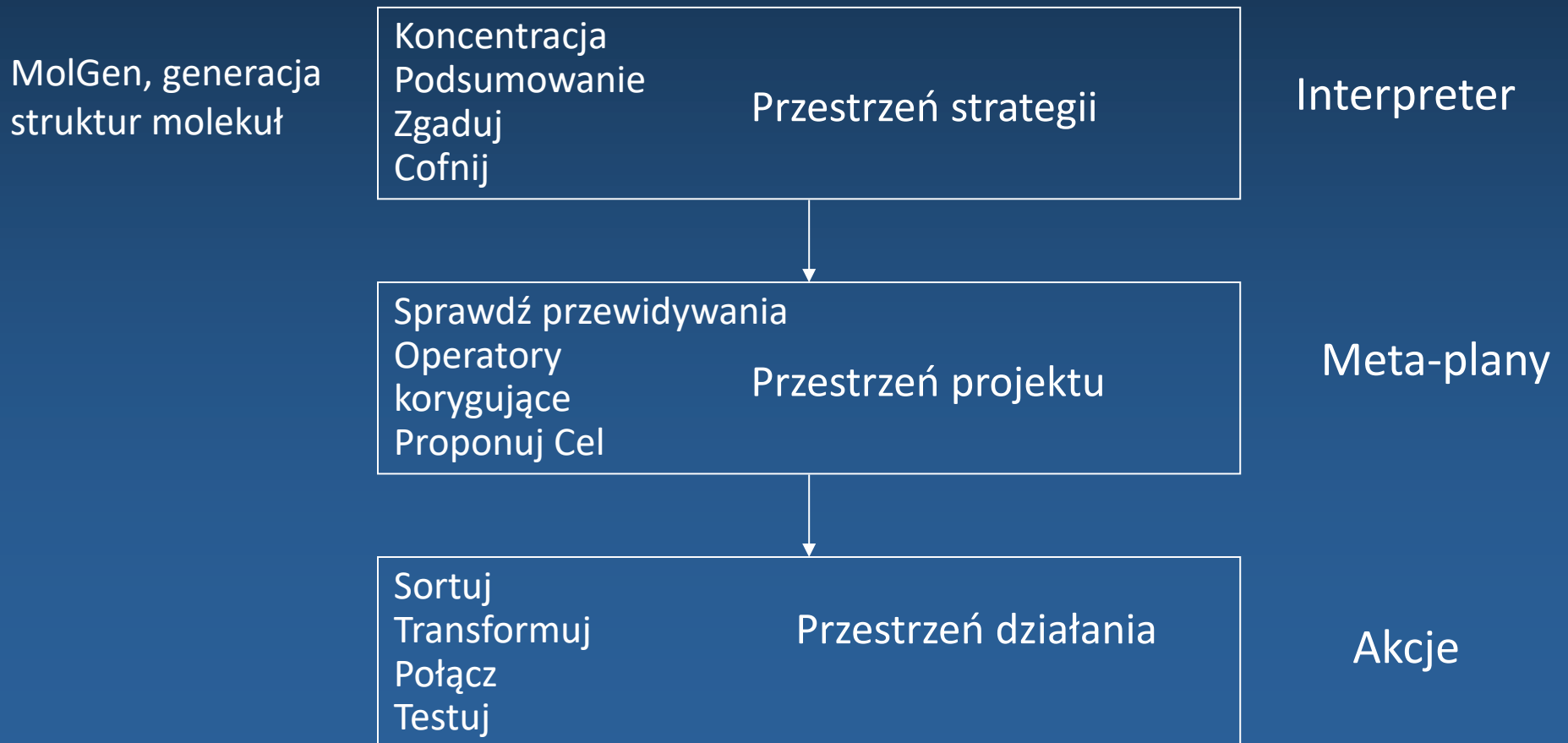
Architektura hierarchiczna

- Architektura **hierarchiczna**:
poziom faktów z danej dziedziny + przynajmniej jeden meta-poziom, wiedza strategiczna, fakty dotyczące reguł niższego poziomu.
Systemy hierarchiczne działające w szerszych domenach wiedzy tworzą drzewa taksonomiczne usiłując podzielić całą wiedzę na rozłączne specjalistyczne dziedziny.



Architektura wielowarstwowa

- Architektura **wielowarstwowa**: kilka warstw, leżące wyżej kontrolują działanie na niższym poziomie; meta-wiedza i kryteria strategicznego planowania i działania.
- Czasami przestrzeń zamiast warstwy, np. przestrzeń działania (konkretne akcje), przestrzeń planowania (określanie celów bieżących), przestrzeń strategii (koncentracja uwagi na jakimś obszarze, cofanie działań).



Architektura tablicowa

- **Architektura tablicowa** (blackboard): łączenie wiedzy z kilku źródeł w „pamięci roboczej”, z której korzystają moduły wnioskujące. Jedna lub kilka tablic, informacje mają hierarchiczną strukturę o wzrastającym stopniu szczegółowości.

Zastosowana po raz pierwszy w systemie HEARSAY, jednym z pierwszych działających systemów do rozpoznawania mowy. Popularna w systemach inspirowanych biologicznie, jako model pamięci roboczej (Global Workspace Theory).

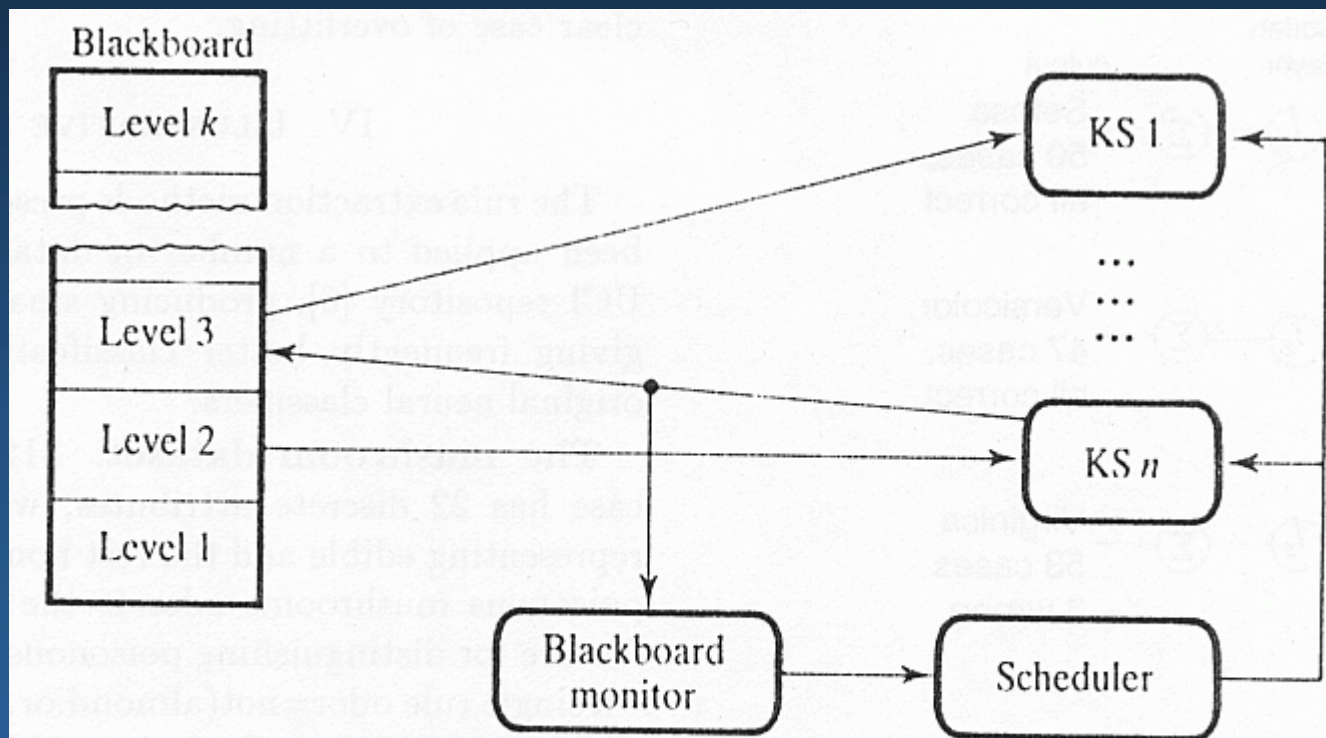
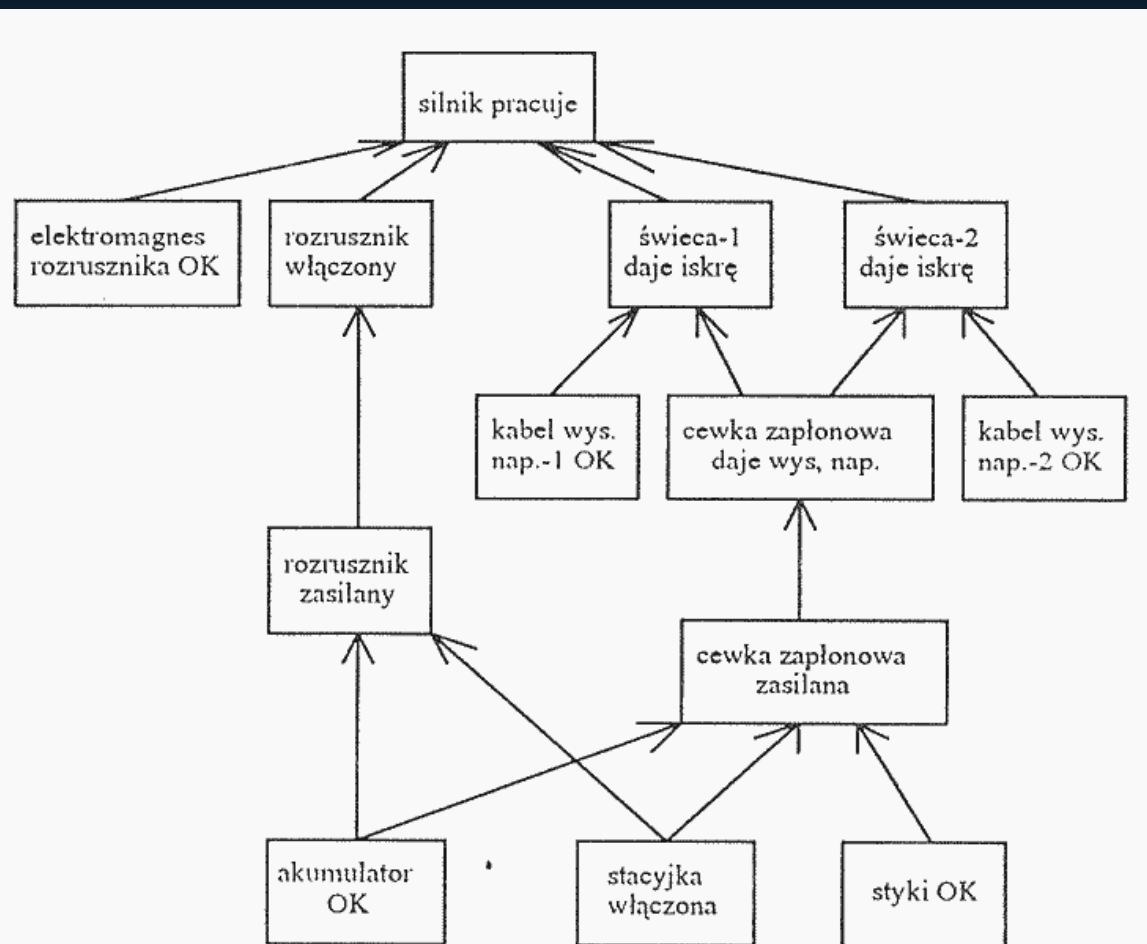


Figure 22.1 Simplified schematic of the HEARSAY-II architecture.

Architektury powiązań przyczynowych

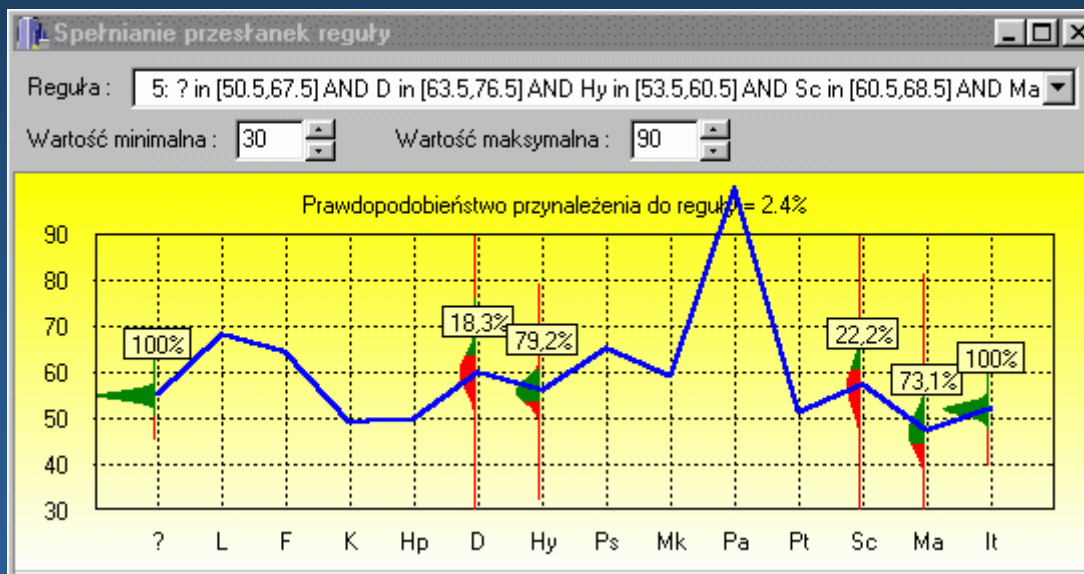
Systemy tworzące sieci przyczynowych powiązań (causal networks) lub probabilistyczne sieci Bayesowskie.



Rys. 1. Sieć przyczynowa.

Architektury hybrydowe

- **Architektura hybrydowa:** regułowo-koneksjonistyczna
Umożliwia automatyczne tworzenie skojarzeń.
Systemy koneksjonistyczne mogą służyć odkrywaniu wiedzy na podstawie analizy danych; wiedza dodawana jest do systemu.
- Przykład: **MMPI-IDSS**, nasz system analizy psychometrycznej.

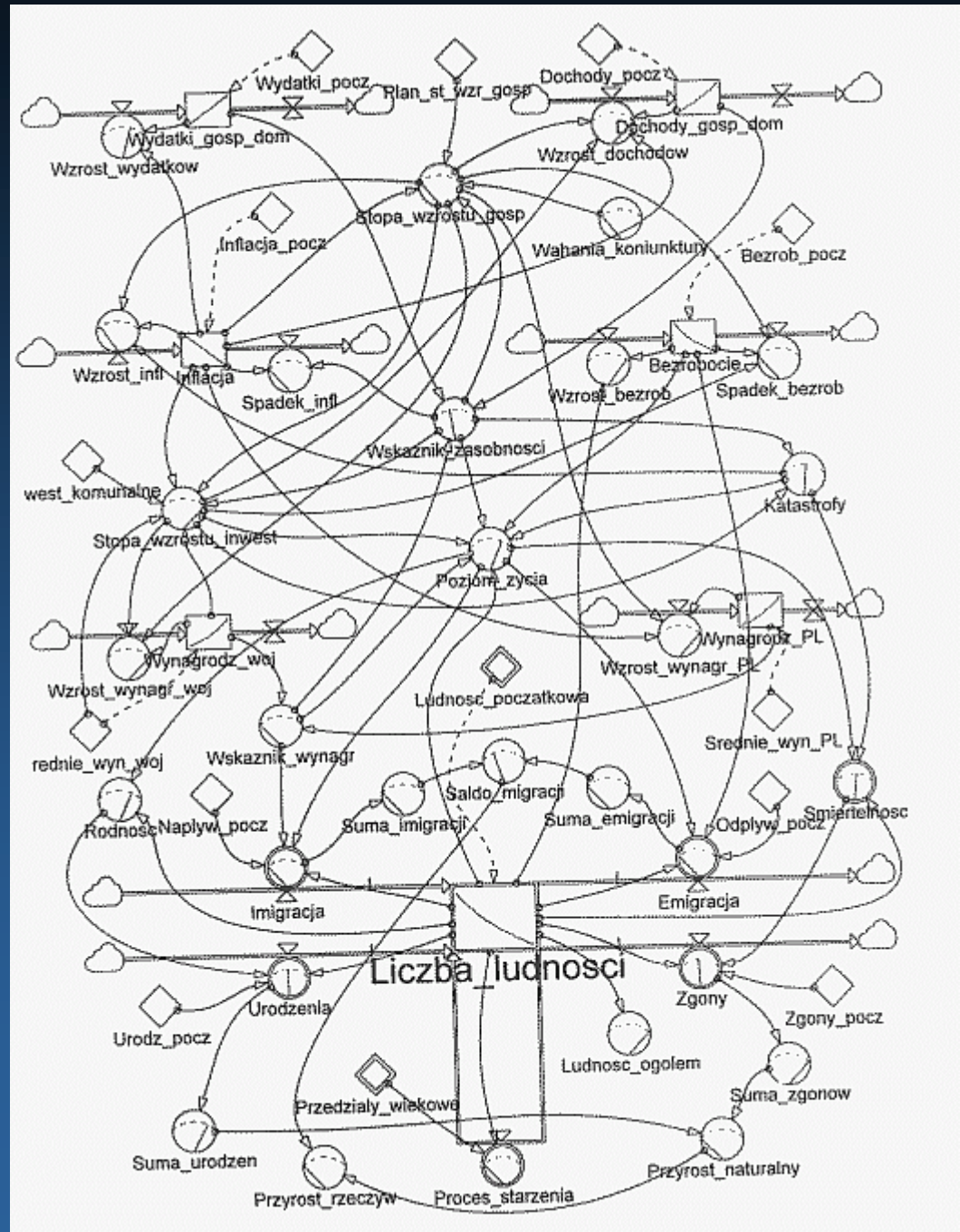


Architektury symulacyjne

Architektura symulacyjna: modele numeryczne danej dziedziny, zależności funkcyjne nie dające się uchwycić w postaci reguł. System do symulacji ustala funkcje wpływu poszczególnych węzłów na inne i rozwiązuje równania różniczkowe pozwalające na śledzenie zmian.

Współczynniki wpływu i funkcje trzeba tak dopasować by z danych z przeszłości odtworzyć obecnie obserwowane.

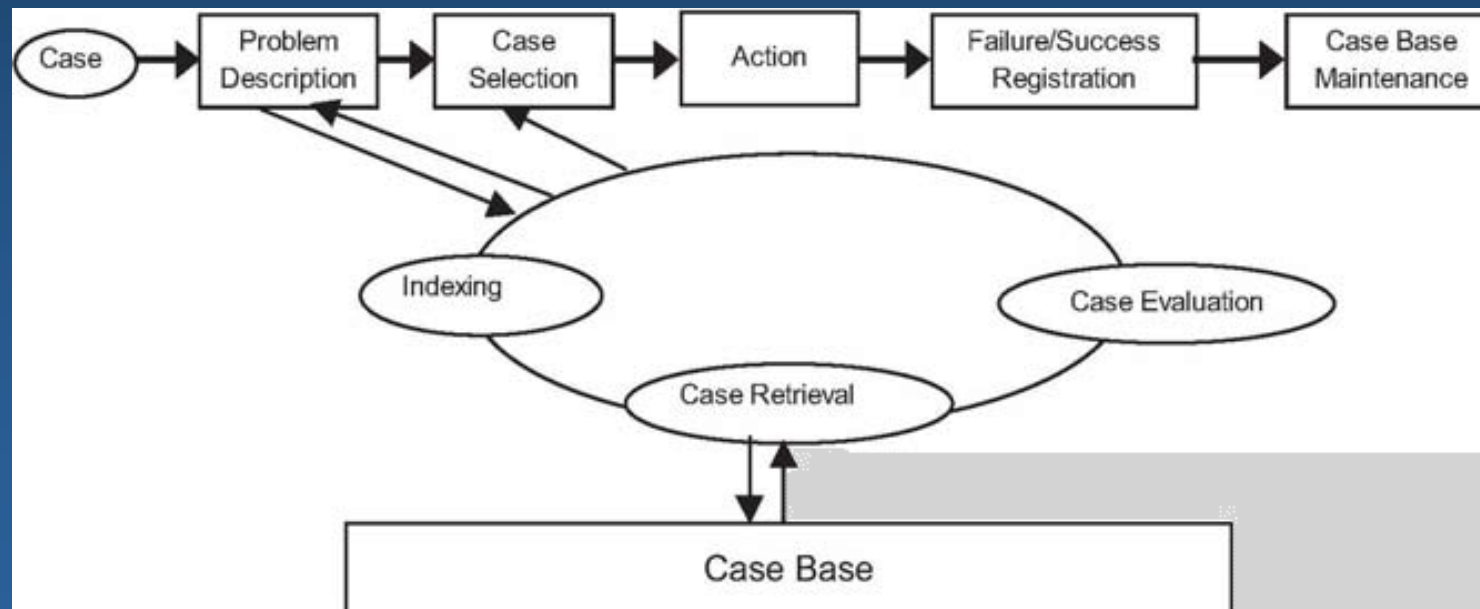
Przykład: prognozowanie liczby ludności.



Architektury wykorzystujące analogie

- Architektura **korzystająca z analogii** (case-based reasoning).
W wielu dziedzinach (prawo, medycyna) podstawą rozumowania są analogie, precedensy, do których można się odwołać.
- Korzystają z bazy danych opisujących znane przypadki, ocen podobieństwa, reguł szukania i używania analogii.

Zawierają opis klas problemów, jakie potrafią rozwiązać, wraz ze schematami rozwiązań i sposobami określania podobieństwa do znanych przypadków z danej klasy.



Konstrukcja ES

Systemy klasyfikujące: wybór rozwiązania z ustalonej grupy.

Systemy konstruujące: składanie rozwiązania z elementów.

Problem: brak wiarygodnej wiedzy, różne rodzaje niepewności.

Rozwiązanie: prawdopodobieństwa warunkowe, współczynniki ufności lub pewności (confidence factors), teoria wiarygodności, teoria zbiorów rozmytych.

Metodologia konstrukcji dużych systemów podobna jest do narzędzi CASE (Computer Aided Software Engineering), np:

[KADS, Common KADS, Pragmatic KADS.](#)

Książka o [Common KADS.](#)

Przykład diagramów UML (Universal Modelling Language) stosowanych w KADS.

Konstrukcja ES

Systemy klasyfikujące: wybór rozwiązania z ustalonej grupy.

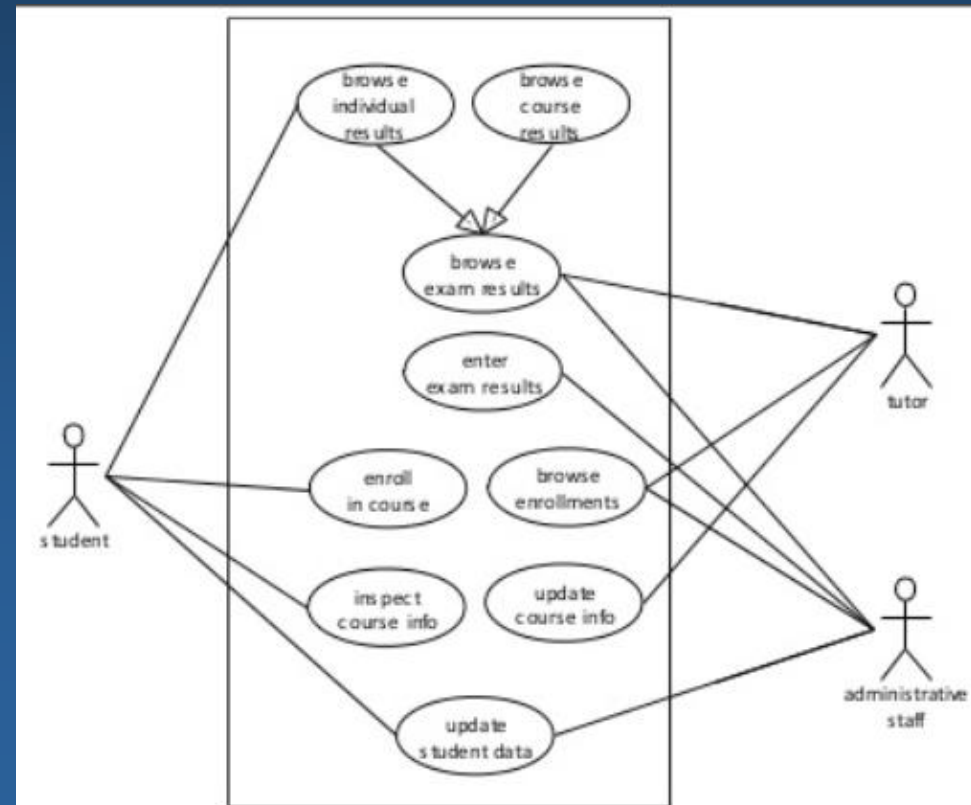
Systemy konstruujące: składanie rozwiązania z elementów.

Problem: brak wiarygodnej wiedzy, różne rodzaje niepewności.

Rozwiązanie: prawdopodobieństwa warunkowe, współczynniki ufności lub pewności (confidence factors), teoria wiarygodności, teoria zbiorów rozmytych.

Przykład diagramów UML
(**Universal Modelling Language**)
stosowanych do konstrukcji dużych systemów ekspertowych.

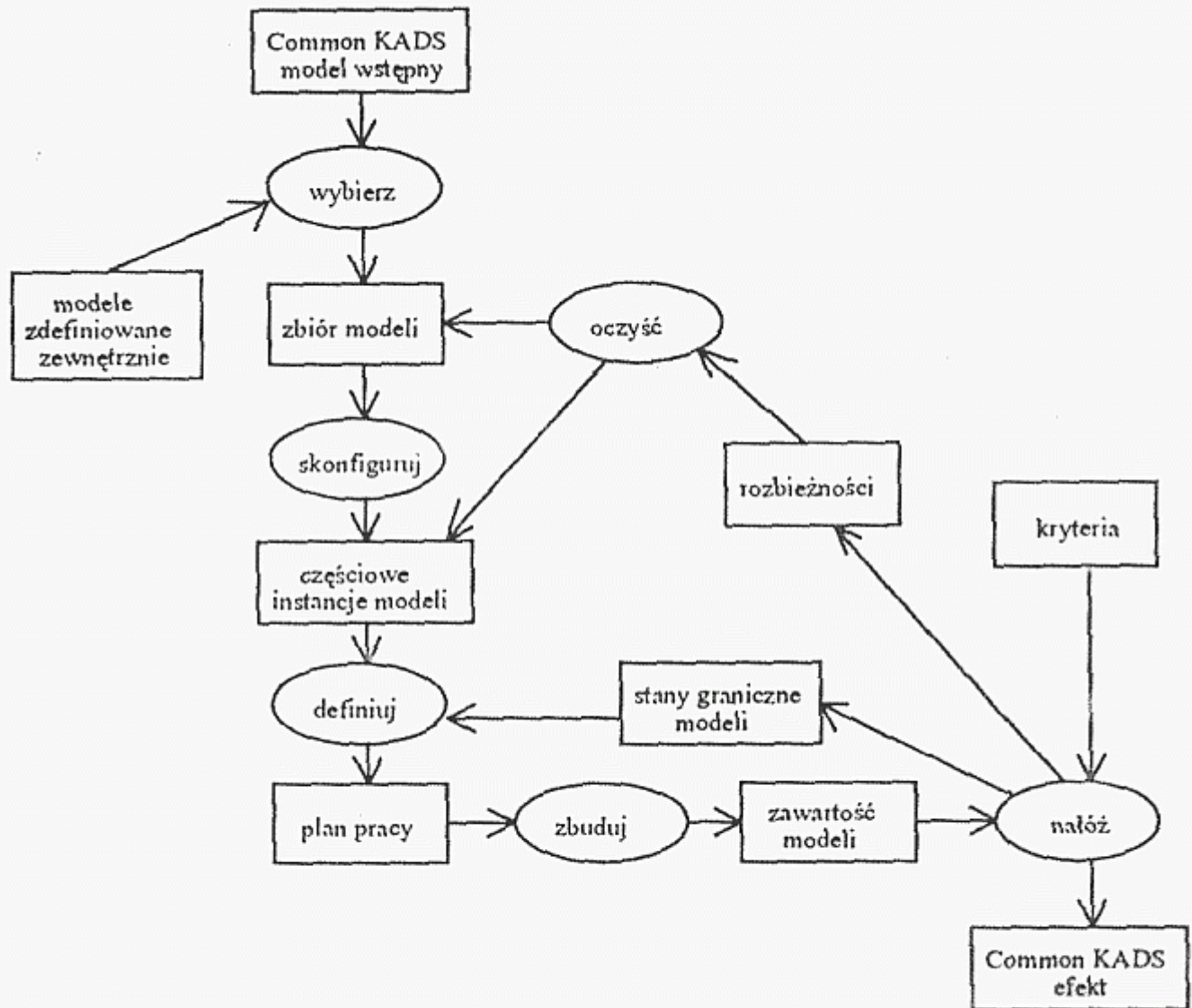
Metodologia konstrukcji dużych systemów ES podobna jest do narzędzi **CASE**
(Computer Aided Software Engineering).



Common KADS

Diagram ilustrujący schemat budowy modelu w narzędziach Common KADS.

Książka o [Common KADS](#).

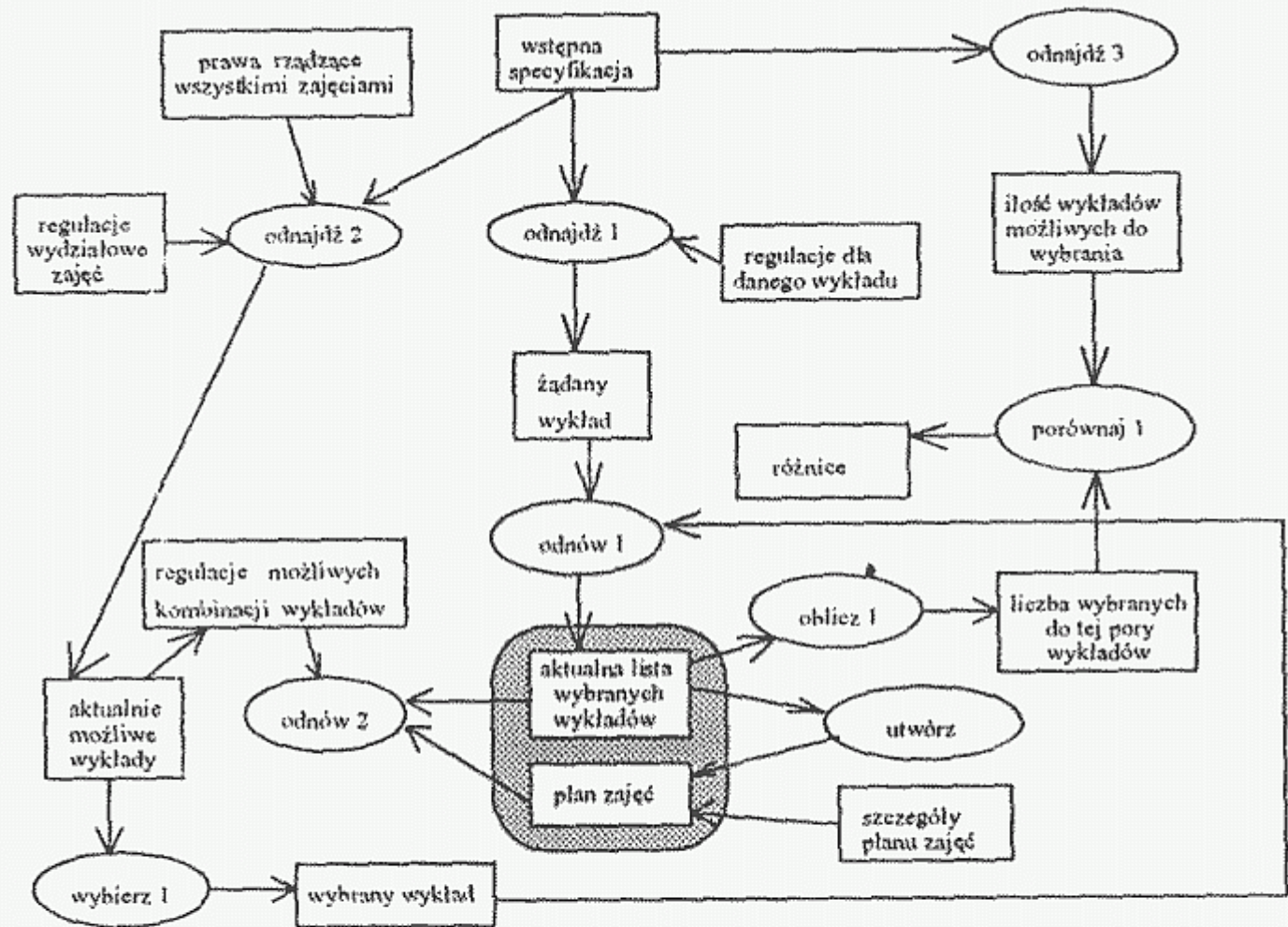


Rys. 3. Common KADS - budowa modelu.

Pragmatic KADS

Diagram ilustrujący schemat budowy modelu w narzędziach Pragmatic KADS, używanych zwykle do mniejszych projektów.

Inne narzędzia do tworzenia systemów ES.



Rys. 5. Diagram dla problemu wyboru zajęć stworzony przez Pragmatic KADS.

Języki programowania do tworzenia ES

LISP (List PROcessing, przetwarzanie list), 1958, J. McCarthy

Common Lisp 1984 rok, wiele dialektów, np. Scheme

CLOS (Common Lisp Object System)

Język funkcyjny: listy i funkcje

(minimalnie 7 funkcji pozwala zrealizować model maszyny Turinga)

FACTORIAL(N): (COND ((EQUAL N 1) 1)

(TRUE (TIMES N (FACTORIAL (DIFFERENCE N 1)))))

Prolog (Programming in Logic), Marsylia i Edynburg.

Realizacja rachunku predykatów pierwszego rzędu, do prototypów, Prolog w japońskim projekcie V generacji; raczej mniejsze systemy lub prototypy.

Inne: POP, FUZZY, KES, OPS5, KEE (Knowledge Engineering Environment) ...

Expert System Shells (ESS): EMYCIN, KAS (Knowledge Aquisition System),

ESS: czas opracowania systemu 10-20 razy krótszy niż programowanie od zera.

Języki zorientowane obiektowo: C++, Smalltalk, Dylan.

Niepewność wiedzy: przyczyny

Przyczyny niepewności wiedzy:

- Niewiarygodne źródła informacji.
- Zbyt wiele informacji nie mającej znaczenia.
- Brak precyzji w obserwacjach i opisie.
- Błędy aparatury.
- Brak zrozumienia sytuacji.
- Sprzeczne informacje.
- Nieznane czynniki wpływające na sytuację.
- Zmiana sytuacji w czasie, starzenie się wiedzy.
- Wysokie koszty pozyskiwania nowych informacji.

Niepewność w ES

Logika rozmyta, teoria prawdopodobieństwa i inne sposoby.

Najprostsze: czynniki „zaufania”, CF (confidence factor)

CF: {Stwierdzenia X} $\in [-1,+1]$

- CF = +1 na pewno prawdziwe
- CF = -1 na pewno fałszywe
- CF = 0 nic nie wiadomo.

CF(wyniku akcji) = CF(warunków) x CF(reguł)

Jest to aproksymacja wnioskowania probabilistycznego.

W praktyce stosuje się heurystyczne formuły do obliczania CF.

Logika Rozmyta i teoria Dampstera-Shafera są również często stosowane.

Zalety i wady ES

- Przydatne do rozwiązywania złożonych problemów, w dziedzinach, w których zgromadzono wiedzę empiryczną
- Potrafią odpowiadać na pytania prezentując swoje konkluzje w intuicyjnie zrozumiały sposób, nie potrzeba programistów by zrozumieć ich działanie, to „wyjaśnialne AI”.
- Zwykle oparte są na jednolitym sposobie reprezentacji wiedzy, np. regułach/ramach, dzięki czemu łatwo jest modyfikować wiedzę.

Wady:

- Trudno przewidzieć skutki dodania nowej wiedzy, rozumowani. zdroworozsądkowe jest trudne, wymaga obszernej wiedzy i wyobraźni - brak możliwości analizy obrazów i sygnałów.
- Trudno jest pozyskiwać wiedzę – ale uczenie maszynowe i odkrywanie wiedzy powoli staje się częścią ES.
- Uwzględnianie niepewności było rzadko spotykane w klasycznych systemach ES.

Zastosowania i przykłady

Medycyna

System MYCIN

Program do diagnostyki i terapii chorób zakaźnych (Stanford, 1972), jeden z pierwszych medycznych SE.

- baza wiedzy
- baza danych pacjenta (opis przypadku)
- program konsultacyjny, zadający pytania, wyciągający wnioski i dający porady
- program wyjaśniający, uzasadniający porady
- program gromadzenia wiedzy, pozwalający na modyfikację i rozszerzania bazy wiedzy

Wiedza: reguły produkcji, listy, tabele, opis parametrów klinicznych ...

Reguły – z programu do tworzenia baz wiedzy Theresias.

TEIRESIAS: tworzenie baz wiedzy

Do wspomagania tworzenia baz wiedzy, pomaga dodawać, modyfikować i usuwać błędy z bazy wiedzy.

Zastosowany początkowo w systemie MYCIN, zajmującego się infekcjami bakteryjnymi. Typowa reguła wygląda następująco:

REGUŁA 095

IF Kultura bakteryjna rozwinęła się we krwi

i odczyn jest gramopozytywny

i bakterie wniknęły przez jelito

i żołądek lub miednica są miejscem infekcji

THEN Istnieją silne poszlaki, że klasą bakterii, które są za to odpowiedzialne są Enterobacteriaceae.

TEIRESIAS cd

META-REGUŁA 001

IF (1) infekcja ma charakter brzuszny i
(2) użyto reguł które wspominają o Enterobacteriaceae i
(3) użyto reguł wspominających o pałeczkach
 grampozytywnych

THEN z poziomem ufności 0.4 reguły dotyczące Enterobacteriaceae powinny
być użyte przed regułami dotyczącymi pałeczek.

Meta-reguła nie odwołuje się do żadnych specyficznych reguł, określa tylko kolejność stosowania grup reguł.

MYCIN - przykład dialogu

MYCIN dostaje dane bakteriologiczne, czasy pobierania próbek, nazwisko, płeć, wiek, i prowadzi dyskusję zadając pytania:

1) Czy określono mikrobiologicznie rodzaj możliwej infekcji?

Tak

2) Jakiego rodzaju jest to infekcja?

Primary-Bacteremia

3) Proszę podać kiedy nastąpiły pierwsze objawy infekcji.

15-Stycz-93 11:30

4) Skąd pochodzą próbki pierwszej kultury bakteryjnej?

Krew

5) Kiedy otrzymano próbki kultury bakteryjnej z krwi?

16-Stycz-93 12:00

...

9) Pierwsza bakteria wyhodowana w tej próbce krwi będzie określana jako Organizm-1. Zidentyfikuj organizm-1.

Nieznany.

MYCIN - dialog cd.

10) Czy organizm-1 jest pałeczką czy ziarnkowcem?

Pałeczką

...

14) Moje zalecenia terapeutyczne będą oparte o następujące prawdopodobne infekcje spowodowane przez nast. bakterie.

INFEKCJA-1 typu Primary-bacteremia

1. E. Coli (Organizm-1)

2. Pseudomonas-aeruginosa (Organizm-1)

Czy ta diagnoza jest prawidłowa? Nie

Czy brakuje jakiejś możliwości? Tak.

Jakiej?

klebsiella-pneumoniae, prrteus-non-mirabilis

Czy któreś z organizmów nie powinny się pojawić?

...

Czy chcesz

1) sam szukać problemu

2) skorzystać z moich możliwości

3) zająć się tym później?

Medycyna

Porównanie diagnoz i zaleceń MYCIN i 5 specjalistów z Stanfordu: MYCIN 52 punkty, specjaliści 34 - 50 p, student medycyny 24 punkty.

EMYCIN (1981), rozwinięcie NEOMYCIN (1984).

PUFF i jego rozwinięcie CENTAUR (1983), do diagnozy chorób płuc.

INTERNIST: choroby poszczególnych organów: płuc, serca, wątroby; ok. 2000-10.000 chorób, podejście hierarchiczne.

Wiele innych ekspertowych systemów medycznych.

Czemu nie ma SE w szpitalach?

ES w chemii

System **DENDRAL** (od 1965 roku, Stanford University)

Generacja struktur chemicznych zgodnych z informacjami z spektrofotografii masowej, NMR, widm IR, UV, informacjami o reakcjach chemicznych.

Określanie struktury substancji chemicznych i biologicznych: rentgenograficznie - bardzo drogie.

Spektrometr masowy: rozbija wiązką elektronów cząsteczki, analizuje masę naładowanych fragmentów, wykres intensywność $-e/m$.

Wzór sumaryczny: $C_6 H_{13} NO_2$ ponad 10.000 izomerów.

Wzór sumaryczny: $C_{25} H_{52}$ ponad 36 mln izomerów.

Planowanie: spektrogram - fragmenty cząsteczki.

Generacja: tworzy wszystkie struktury przestrzenne zgodne z wiązaniami. Algorytm dla struktur niecyklicznych z 1964, a cyklicznych z 1976 roku.

Testowanie: symulacja i ocena podobieństwa widm

Dendral

- **Przykład reguły**

Jeśli: widmo ma 2 piki dla mas x_1 i x_2 takich, że

a) $x_1 + x_2 = M + 28$ i

b) $x_1 - 28$ to wysoki pik i

c) $x_2 - 28$ to wysoki pik i

d) przynajmniej jeden z pików x_1 , x_2 to wysoki pik

to: cząsteczka zawiera grupę ketonową.

Ograniczenia redukują możliwe struktury, np. dla $C_8H_{16}O$ z 790 do 3 struktur.

Od 1969 roku używany w chemii, m.in. wyjaśniono:

- strukturę estrów organicznych,
- hormonów,
- antybiotyków,
- nieczystości w substancjach chemicznych.

Dla substancji mieszanych wyniki lepsze niż uzyskiwane przez ekspertów.

Chemia cd.

Meta-DENDRAL: automatyczne tworzenie teorii, tworzenie koncepcji w wyniku indukcji, np. szukanie reguł typu:

R1. $N-C-C-C \text{ } \oplus \text{ } N-C * C-C$

na podstawie widm znanych struktur.

Moduły: INTSUM, RULEGEN, RULEMOD (rule refinement);

Użycie uczenia maszynowego.

Meta-DENDRAL odkrył znane reguły dla kilku klas cząsteczek i znalazł nowe dla wielu klas; stosowany w spektroskopii masowej i spektroskopii NMR ^{13}C .

CRYNALIS do krystalografii białek - koszt zbadania struktury białka może sięgać wielu milionów \$. Interpretacja map gęstości elektronowej i innych danych w oparciu o reguły i koncepcję „tablic”; event-driven control structure.

- **Heurystyczna interpretacja widm:**

algorytm LS (library search algorithm) - dopasowanie wzorca;

algorytm sieciowy - analiza w oparciu o drzewa decyzji;

algorytm wektorowy - tworzenie wektora opisującego strukturę.

Chemia - synteza

- **CASD - Computer Aided Synthesis Design**

Typowa synteza > 10 odrębnych reakcji.

Najprostszy steroid z 20 atomów - synteza na 10^{18} sposobów!

Liczba podstawowych substratów < 500,
innych substratów używanych w przemyśle < 2000.

Bazy danych - rzędu 500 schematów reakcji;
ponad 100.000 konkretnych reakcji.

Nowe reakcje chemiczne - ogólna teoria oparta na modelu D-U (Dugundji, Ugi). 3 macierze reakcji - 77% wszystkich reakcji przemysłowych.

Metody AI doprowadziły do odkrycia wielu nowych reakcji chemicznych.

[Chematica](#) odkrywa nowe, jeszcze nieopatentowane ścieżki reakcji.

Biologia i genetyka

Biologia molekularna i genetyka: procesy zbyt skomplikowane by człowiek mógł je w pełni zrozumieć.

Badania doświadczalne dostarczają danych, ale potrzeba teorii, zrozumienia związków pomiędzy genami, białkami, budową komórek i ich funkcjami.

[EcoSys](#), encyklopedia E. Coli zawiera wiedzę z 44.000 publikacji (2025).

Najprostsze bakterie, np. *Escherichia Coli*, mają skomplikowany metabolizm, 1800 reakcji katalizowanych przez 1425 enzymów, 4495 genów, 3612 produktów genów.

Ontologie: symboliczny opis obiektów znajdujących się w komórce i ich funkcji.

[BioCyc](#) zawierał (2025) ponad 20 000 baz genomycznych i ścieżek metabolicznych, 146 000 publikacji, 2400 mikrobów i bakterii, w tym [MetaCyc](#).

Meta-reakcje: typowe reakcje w komórce, pozwalają na podstawie informacji genomycznej przewidywać możliwe reakcje.

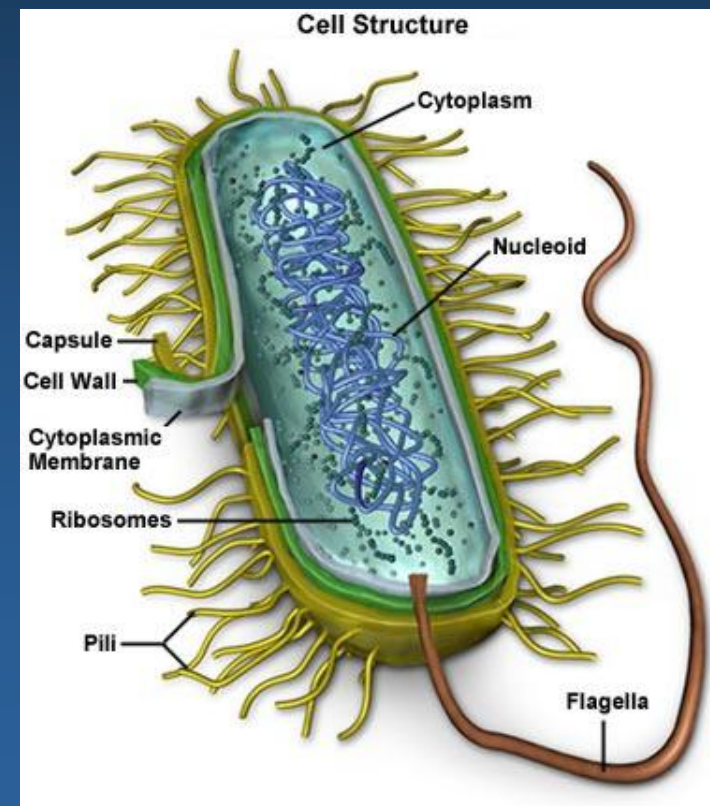
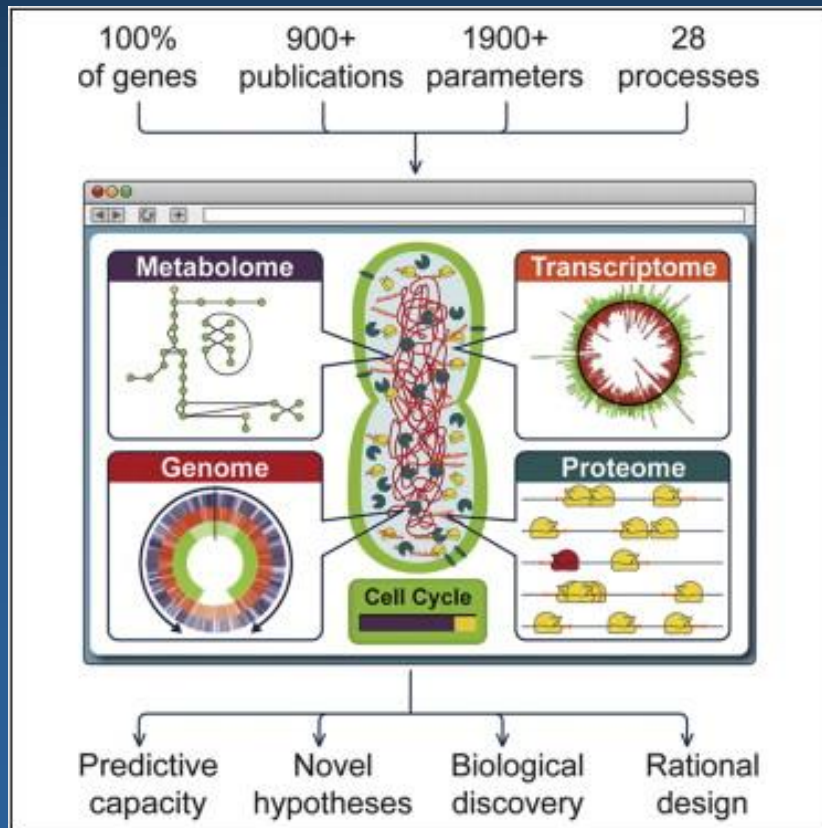
Bazy wiedzy opisujące ścieżki reakcji odpowiadają na pytania interesujące biologów i medyków.

Biologia i genetyka

Jak z informacji w DNA powstaje skomplikowana struktura przestrzenna komórki?
Patogen *Mycoplasma genitalium*, 525 genów.

A Whole-Cell Computational Model Predicts Phenotype from Genotype.
Cell [150\(2\)](#), 389-401, 20 July 2012

Eksperymenty *in silico* przewidują nowe procesy metaboliczne.



Matematyczne SE

Systemy algebry symbolicznej to jedne z pierwszych komercyjnych i szeroko stosowanych zastosowań AI:

Systemy ogólnego użytku: Axiom, Macsyma, Maple, MathCAD, Reduce, MuMath, Mathematica 6 z dowodzeniem twierdzeń.

Specjalistyczne: FORMAC, ALTRAN, SCRATCHPAD ...

Systemy dowodzenia twierdzeń dały wiele nowych wyników:

- dowody istnienia pewnych kwazigrup,
- EQP, dowód hipotezy Robbinsa (z 1936 roku),
- zawody programów dowodzących na konferencji CADE.
- Weryfikacja FPU w mikroprocesorach.

Projekt QED: próba formalizacji całej matematyki (nieaktywny).

Projekt Mizar, 9400 definicji i 49.000 twierdzeń, rozwijany od 1993 roku.

TheoryMine (Edinburgh) – odkryj nowe struktury matematyczne i udowodnij a potem kup sobie twierdzenie. Projekt działał przez 10 lat ale wiele nie zarobił.

FunSearch Google DeepMind – odkrycia matematyczne przez LLM.

Inteligentne wyszukiwanie

Miliony publikacji naukowych rocznie! Jak znaleźć ważne publikacje?

Google: początkowo dość proste algorytmy oparte na linkach, teraz grafy wiedzy, modele językowe.

Teraz mamy wiele dobrych systemów, ale wiele z nich konfabuluje zmyślając tytuły i podając błędne linki publikacji.

Perplexity, Elicit, Consensus, SciSpace, Insightful, Open knowledge maps, Litmaps, Explainpaper, ScienceOpen, X-mol, SciMat, InfraNodus, ChatPDF

irisi.ai - Research discovery with artificial intelligence.

[Mezi](#) był jednym z pierwszych osobistych asystentów podróżników, od połączeń i hoteli po restauracje, tworząc profil danej osoby i znając jej preferencje.

Obecnie mamy wiele takich systemów [Personal Travel Assistant](#)

Human resources

Leena AI to asystentka HR odpowiadająca natychmiast na pytania pracowników, używana przez wielkie firmy, takie jak Hitachi czy CocaCola.

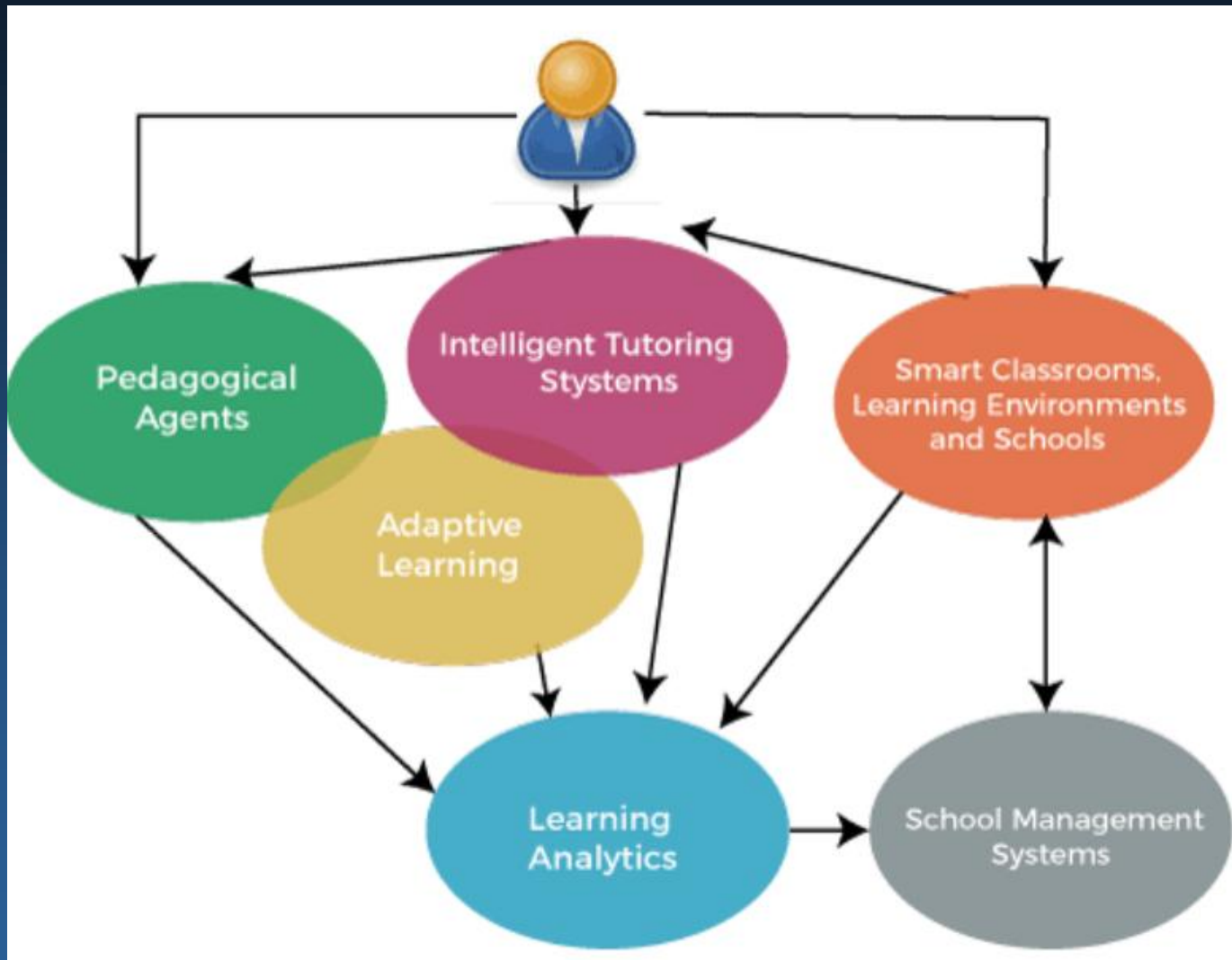
<https://leena.ai/>

Automatyzacja helpdesk, obiecuje spersonalizowane relacje z każdym pracownikiem.

HR chat bot

- Query Resolution: Employee Assistance Bot zmniejsza potrzebę reakcji działu kadr w firmie odpowiadając na pytania.
- Leave Related Services: pozwala ustalić daty urlopów, pokazuje ile dni zostało i ile wykorzystano.
- Contextual Offers: poleca pracownikom oferty dostosowane do ich sytuacji, np. działu socjalnego czy zniżki na podróże.

ICAI: Inteligentne wspomaganie nauczania



ICAI: Inteligentne wspomaganie nauczania

Intelligent tutoring system (ITS)

Współpraca z kognitywistyką, psychologią, HCI, filozofią ...

Przykładowe projekty:

Nauczanie języka dzieci specjalnej troski: wspomaganie korekcji wad wymowy, problemów z pisaniem i czytaniem, ES zbierające informację pozwalająca na zrozumienie trudności konkretnego dziecka (diagnostyczne).

Nauczanie języków obcych: modelowanie wiedzy ucznia, strategii uczenia się, rozpoznawanie problemów i działania korekcyjne, np. dobór odpowiednich przykładów.

Sporo dobrych przykładów.

JavaTpoint on education

Khanmigo, czyli ChatGPT Akademii Khana dla edukacji.

ICAI: Inteligentne wspomaganie nauczania

- Alkhatlan A, Kalita J (2018) Intelligent tutoring systems: a comprehensive historical survey with recent developments. *Int J Comput Appl* 975:8887
- Chan KS, Zary N (2019) Applications and challenges of implementing artificial intelligence in medical education: integrative review. *J Med Internet Res* 5(1):e13930
- Chen L, Chen P, Lin Z (2020) Artificial intelligence in education: a review. *IEEE Access* 8:75264–75278
- Fryer LK, Nakao K, Thompson A (2019) Chatbot learning partners: connecting learning experiences, interests and competence. *Comput Hum Behav* 93:279–289
- Holmes W, Bialik M, Fadel C (2019) Artificial intelligence in education: promises and implications for teaching and learning. Center for Curriculum Redesign.
- Humble N, Mozelius P (2019) Teacher-supported AI or AI-supported teachers. In: *European Conference on the Impact of Artificial Intelligence and Robotics (ECIAIR 2019)*, pp. 157–164
- Kim S, Kim S, Lee M, Kim H (2020) Review on artificial intelligence education for K-12 students and teachers. *J Kor Assoc Comput Educ* 23(4):1–11
- Long Z, Andrasik F, Liu K, Hu, X (2020) Self-improvable, self-improving, and self-improvability adaptive instructional system. In: *AI Supported Educational Technologies*. Springer, pp. 77–91
- Munir H, Vogel B, Jacobsson A (2022) Artificial intelligence and machine learning approaches in digital education: a systematic revision. *Information* 13(4):203
- Ocaña-Fernández Y, Valenzuela-Fernández LA, Garro-Aburto LL (2019) Artificial intelligence and its implications in higher education. *J Educ Psychol-Propos Represent* 7(2):553–568

ICAI 1

Intelligent tutoring systems (ITS)

Tradycyjna forma nauczania, dobre do nauczania algebry, przyswajania wiedzy książkowej.

Interactive learning environments (ILEs)

Środowisko uczenia się przez zadawanie pytań, rozwój indywidualny wynikający z pracy własnej.

Carnegi Learning Cognitive Tutors:

PAT - wspomaganie nauczania algebry, projekt rozpoczęto już w 1984 roku.

Projekt Pittsburgh Urban Mathematics Project (PUMP), 9 klasa, szkoły w rejonie Pittsburga (USA).

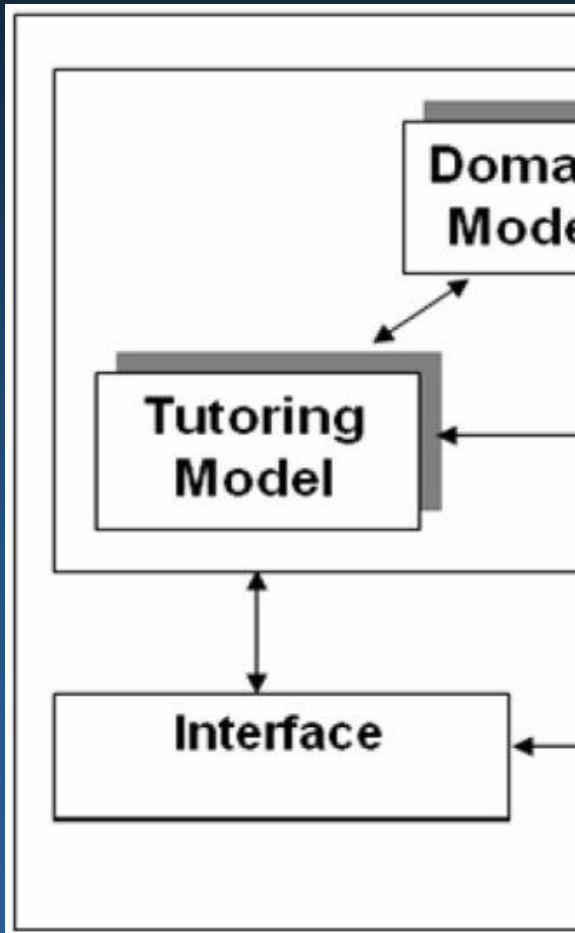
Probabilistyczny (Bayesowski) model wiedzy ucznia, używany do wyboru przykładów do nauki.

Ocena 1993-94 na 470 uczniach pokazała lepsze wyniki średnio o 100% w grupie problemów algebraicznych i 15% w ogólnych matematycznych. Porównania innych systemów - podobnie.

Omówimy ten system przy okazji architektur kognitywnych.

Cognitive Tutors

Najczęściej ograniczone od matematyki i programowania.



The screenshot shows the MATHia interface for the problem "Identifying Key Characteristics of Graphs of Functions". The interface includes a navigation bar with "Home", "System Help", "Glossary", and "Polly Nomial". The problem is presented in a "Step-by-Step" mode. The user is asked to use a graph to answer several questions. The graph shows a coordinate plane with a horizontal dashed line at $y = 8$ and a vertical solid line at $x = 0$. The questions are:

- Select the number of y -intercepts:
- Enter the coordinates of the y -intercept:
- Select the number of x -intercepts:
- Does the function have a minimum x -value? Yes No
- Does the function have a maximum x -value? Yes No
- Select a statement to describe the domain:
- Does the function have a minimum y -value? Yes No
- Does the function have a maximum y -value? Yes No
- Select a statement to describe the range:

A hint dialog is open, asking: "Look at the graph. Does the given graph have a minimum x -value?". The dialog includes a "Next" button and a "Hint 1 of 3" indicator.

Problem: got075 Client Version: 4.2.8 Server Version: 4.2.8 © 2019 Carnegie Learning CARNEGIE LEARNING

ICAI 1

Jakościowe sposoby rozumowania używane w systemach wspomagających nauczanie ekologii. Rozumienie różnych punktów widzenia: wspomaganie sztuki argumentacji, prowadzenia dyskusji, oceny rozbieżności, analiza logiczna.

Narzędzia wspomagające budowę modeli sytuacji, zbierania i oceny danych oraz wiedzy, używane w szkołach podstawowych i średnich w Szkocji.

Modelowanie uczenia przez analogię i tworzenia nowych kategorii.

Analiza i ekspresja emocji przez nauczyciela, zaangażowania w czasie nauki.

Inne programy typu ITS służą do nauczania geometrii, języków programowania, np. Lispu, elektroniki.

- **Micro-tutoring**, czyli częściowe wspomaganie nauczania.
Wspomaganie nauczania studentów medycyny.
- Wspomaganie interpretacji obrazów mamograficznych (Montreal).
- Symulacje procesów zachodzących w organizmie.

Przykład: [Mindspark](#), system wprowadzony w Indiach.

Przykład ICAI: Scholar

SCHOLAR – jeden z pierwszych programów, nauczanie geografii Ameryki Południowej. Baza w postaci sieci semantycznej, pomaga w prowadzeniu dialogu. Węzeł sieci to koncepcja lub obiekt geograficzny; nazwy, listy atrybutów/wartości. Napisany w LISP.

Np. węzeł dotyczący Peru:

((EXAMPLE-NOUN PERU))

(I 0) *Węzeł ma najwyższy czynnik "ważności"*

(SUPERC (I 0) COUNTRY) *Odwołuje się do superkoncepcji "państwo,, i*
(SUPERP (I 6) SOUTH-AMERICA) *"kontynent"*

(LOCATION (I 0) *wartości atrybutu "położenie"*

(IN (I 0) (SOUTH-AMERICA (I 0) WESTERN))

(ON (I 0) COAST (I 0) (OF (I 0) PACIFIC))

(LATTITUDE (I 4) (RANGE (I 0) -18 0)) (LONGITUDE (I 5) (RANGE (I 0) -82 -68))

(BOARDERING COUNTRIES (I 1)

(NORTHERN (I 1) (LIST COLUMBIA ECUADOR)) (EASTERN (I 1) BRAZIL) ...

ICAI 2

[10 EdTech Companies Enhancing Education](#) and Learning through AI

Nauczanie matematyki jest najczęstszym zastosowaniem ICAI:

[Become a Math Champion](#) Guided by Expert Coaches. Powered by AI

Ale jest też np. [MIT Scratch](#): uczy młodych ludzi kreatywnego myślenia, współpracy, oraz wyciągania wniosków. Twórz historyjki, gry i animacje.

Są też „**Course Advisory Expert System (CAES)**” do wyboru zajęć w programach studiów, lub systemy doradcze wyboru kariery,

[An Intelligent Career Advisor Expert System](#)

i wiele innych systemów doradczych w edukacji.

Oceny możliwości i przydatności AI w edukacji są optymistyczne, zwłaszcza w obliczu rozwoju Internetu i dostępu do sieci z domu.

Elementy AI obecne są w licznych programach wspomagających nauczanie, ale tak jak w przypadku innych systemów ekspertowych nie były wyróżniane.

[Cognitive AI](#): Creating a New Standard in Personalized Learning and Healthcare.

[43 examples of AI in education](#), z przykładami programów.

Inne SE

- **Geologia**

PROSPECTOR: SE asystujący geologom; zawiera model złóż geologicznych. Kilkaset reguł definiuje model złoża, poziom przekonania o występowaniu różnych własności.

Przy jego pomocy odkryto szereg złóż.

- **Computer Base Consultant**

CBC, komputerowy konsultant z SRI, pomaga mechanikowi w naprawie, analizuje wypowiedzi mechanika, ma dalmierz laserowy i kamerę TV, laser służy za wskaźnik, np. system zapytany: Gdzie jest obejma pompy, pokazuje laserem. System ma model wewnętrzny urządzenia i korzysta z NLP.

Tendencje

1. Od specjalnych stacji roboczych do komputerów osobistych.
2. Od specjalnych języków i Lispu do C i C++
3. Od systemów niezależnych do zintegrowanych z bazami danych.
4. Wiele metod reprezentacji wiedzy i rozumowania.
5. Nie technologia lecz rozwiązywanie realnych problemów.
6. Sprawność, koszty rozwoju, analiza opłacalności.
7. Automatyzacja akwizycji wiedzy dzięki uczeniu maszynowemu.

Zastosowania: finansowe, w procesach wytwórczych, zarządzania, kolejkowania i ustalania połączeń, szczególnie dla linii lotniczych, obsługi klientów, projektowania; militarne, analiza danych, systemów takich używa się też w inżynierii oprogramowania, administracji państwowej, przemyśle transportowym i kosmicznym oraz wielu innych.

Superekspertowe systemy: Watson, CYC, architektury poznawcze, informatyka i robotyka kognitywna, połączenie z analizą sygnałów.

Analiza rynku

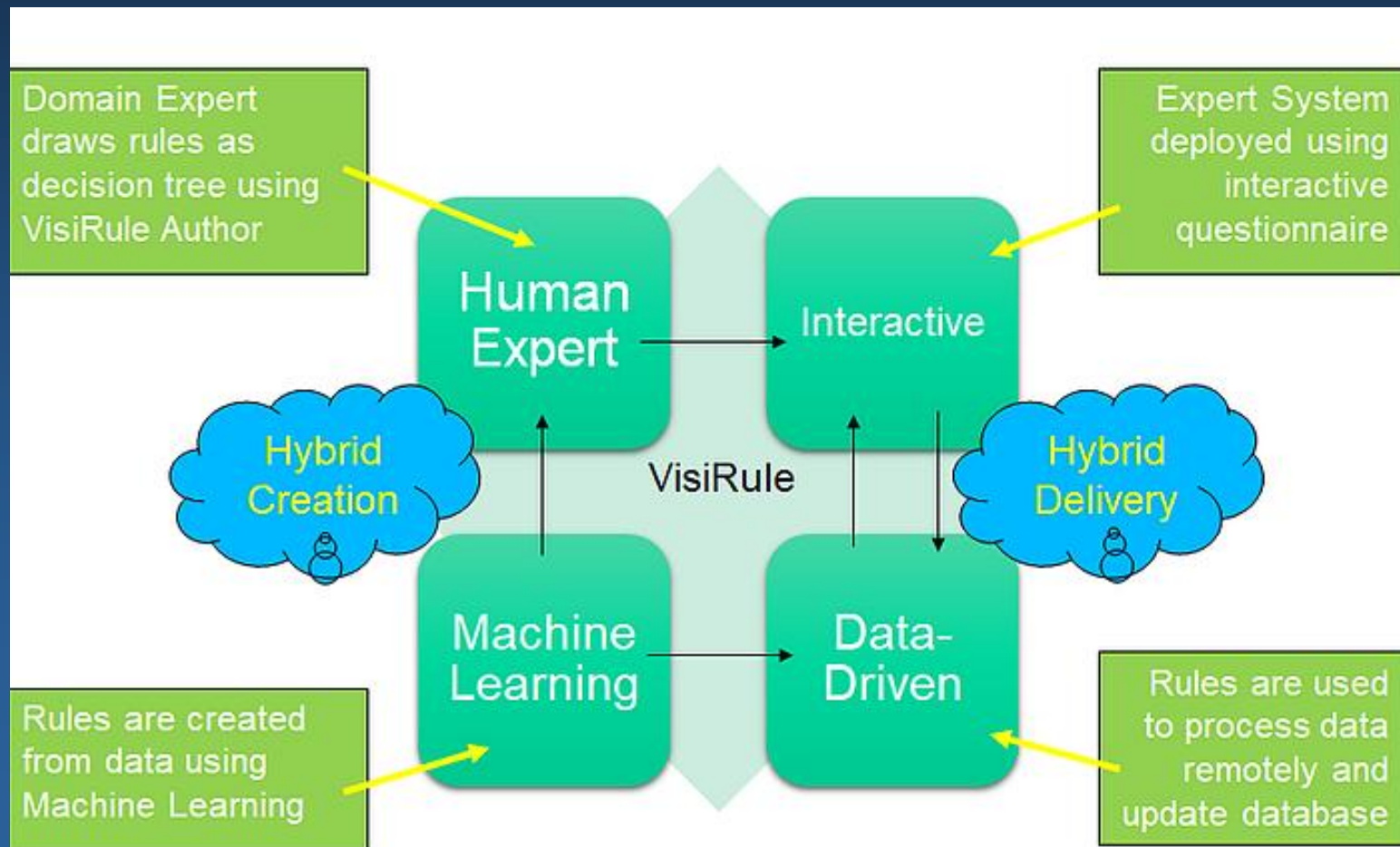
Wartość technologii związanych z AI rośnie w szybkim tempie.

The AI market for enterprise systems is estimated to grow from USD 202 mln in 2015 to USD 11 bln by 2024 ([Techmergence.com](https://www.techmergence.com))



Expert system demo

VisiRule is a code-free AI-powered software package which enables business professionals, such as lawyers, accountants and engineers, to graphically build executable models using their expert knowledge and machine learning ... capture their professional expertise in an online rules-based advice system without the need for programmers.



Przykładowe pytania

- Co to jest system ekspertowy?
- Od czego zależy jakość systemu ekspertowego (SE)?
- Jakie są etapy tworzenia SE?
- Jakie znasz metody akwizycji wiedzy?
- Jak przechowuje się wiedzę w SE?
- Jak klasyfikujemy SE?
- Jakie znasz architektury SE?
- Opisz architekturę XXX SE.
- Jakiego znasz języki służące do tworzenia SE?
- Jakie są rodzaje niepewności wiedzy?
- Jakie są zalety i wady SE?
- Ogólna konstrukcja systemu MYCIN.
- Dlaczego SE są konieczne w biologii?
- Jak SE przydają się w chemii? Matematyce?