

Systemy ekspertowe w medycynie

Jerzy Stefanowski

Instytut Informatyki
Politechnika Poznańska

Wiosna 2007 - aktualizacja 2011

Sztuczna inteligencja

Inne definicje i opinie:

- Głównym zadaniem sztucznej inteligencji jest budowa inteligentnych urządzeń i programów
- Dziedzina informatyki obejmująca metody i techniki wnioskowania symbolicznego oraz przetwarzania symbolicznej reprezentacji wiedzy
- Dyscyplina naukowa zajmująca się rozwiązywaniem problemów, które nie są efektywnie algorytmizowalne

Wprowadzenie do ES

- Definicja - **Systemy ekspertowe** lub systemy eksperckie z j. ang. Expert Systems
 - Są to inteligentne programy komputerowe wykorzystujące procedury wnioskowania do rozwiązywania tych problemów, które są na tyle trudne, że normalnie wymagają udziału specjalistów w danej dziedzinie (ekspertów) – to jest ich wiedzy / ekspertyzy.
- **Ekspert**
 - Człowiek posiadający specjalistyczną wiedzę z pewnej dziedziny i umiejętność stosowania jej dla podejmowania decyzji związanych z tą dziedziną (rozwiązywania problemów).

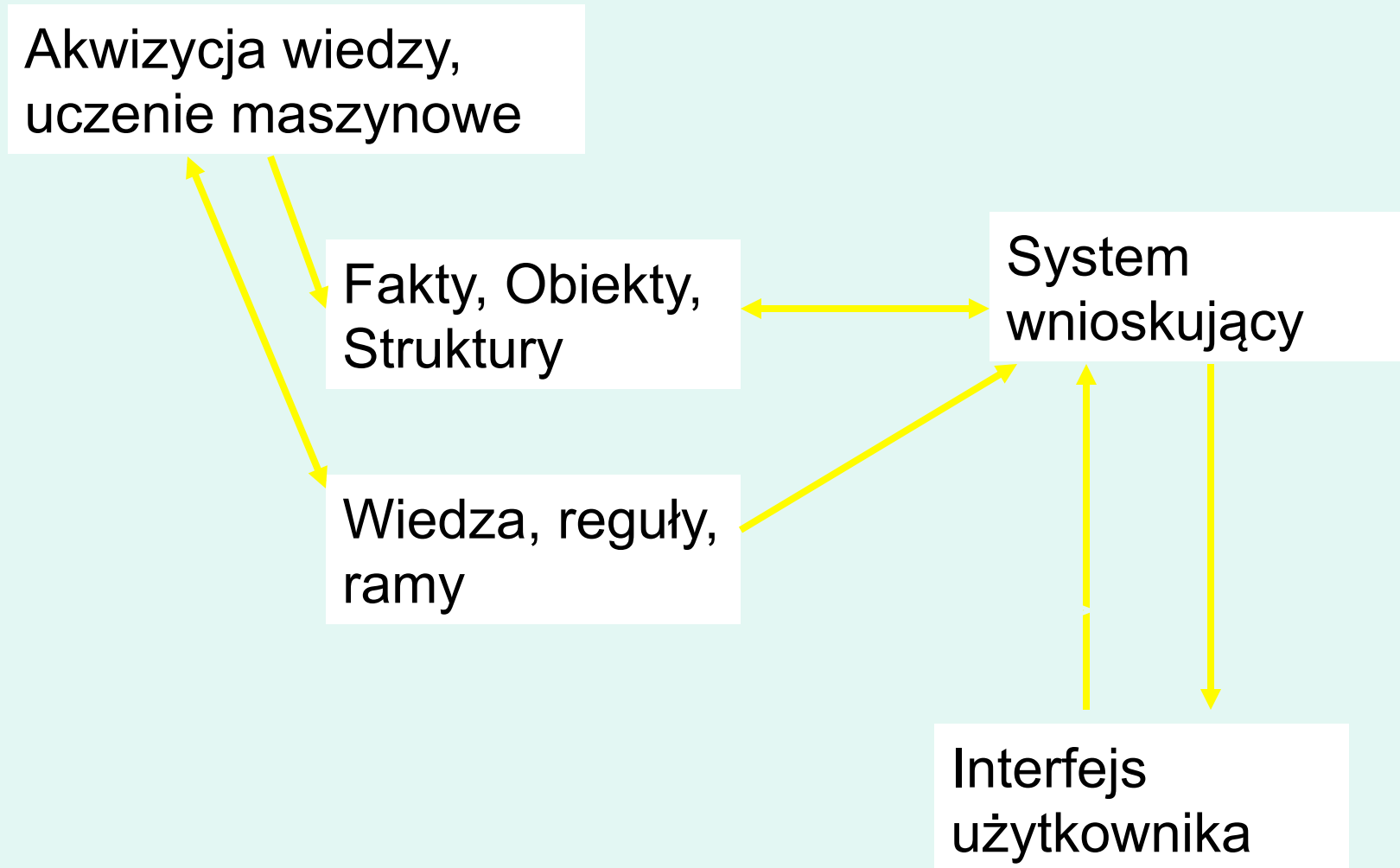
Wprowadzenie do ES

- **Wiedza** (niezbędna, by zapewnić odpowiedni poziom ekspertyzy), wraz z procedurami wnioskowania, stanowi model ekspertyzy posiadanej przez najlepszych specjalistów w danej dziedzinie.
- Wyspecjalizowane sytemy do określonej klasy zastosowań
 - „Ekspert, to człowiek, który wie coraz więcej o coraz mniejszej dziedzinie” 😊

System ekspercki jako program

- Program komputerowy w którym występują:
 - **Baza wiedzy** zawierająca reprezentację wiedzy dziedzinowej istotnej dla podejmowania decyzji (plik / baza o określonej strukturze – podlega zmianie).
 - **Mechanizm wnioskowania** korzystający z bazy wiedzy dla wypracowania decyzji.
- **Wnioskowanie** – poprawne wyznaczanie nowych danych (faktów, wniosków) z bazy wiedzy i faktów początkowych
 - mechanizm implementowany jako część programu.
 - Ciąg kroków potrzebny do wyznaczenia wniosków jest dynamicznie tworzony dla każdej zawartości bazy danych, a nie jawnie zaprogramowany.
 - Baza wiedzy i mechanizm wnioskowania są jawnie rozdzielona w strukturze programu.
- Ponadto SE zawiera inne moduły, to jest głównie:
 - Podsystem sterowania oraz dynamiczna baza danych (faktów, tzw. pamięć robocza).
 - Podsystem dialogu z użytkownikiem (do korzystania z systemu).
 - Podsystem objaśniania.

Ogólna konstrukcja ES



MYCIN – wzorcowy SE

- Powstał w latach 70-tych. Jeden z najbardziej znanych SE.
- Pierwszy udokumentowany system ekspertowy korzystający z niepewnych lub niekompletnych danych (współczynniki pewności CF).
- Projektowany z myślą o tym, aby stać się medycznym narzędziem diagnostycznym.
- Stał się wzorcem i zbudował podwaliny do SE.
- EMYCIN (Empty MYCIN) — szkielet rozumowania lekarskiego.
- Napisany w LISPIe.

Przykład medyczny - MYCIN

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

Medyczny cel MYCINA

- Wspomaganie lekarzy w identyfikacji choroby i terapii.
- Baza wiedzy zawiera informacje (około 500 reguł) na temat różnych infekcji krwi oraz zapalenia opon mózgowo-rdzeniowych.
- Motywacją do jego utworzenia był długi czas oczekiwania na wyniki laboratoryjne określające bakterie będące przyczyną choroby i przez to zmuszenie lekarza do podejmowania decyzji o leczeniu „w ciemno”. Skutek: źle dobrane antybiotyki w około 50% przypadków.

Charakterystyka SE MYCIN

- System prowadzi dialog z użytkownikiem, gdzie komputer jest specjalistą z dziedziny.
- System dysponuje słownikiem zawierającym 800 słów w języku angielskim.
- Pytania dotyczą danych pacjenta, występujących symptomów choroby i wyników badań laboratoryjnych.
- Odpowiedzi i pytania powstają przez składanie tekstu z odpowiednich reguł.
- System ma możliwość korygowania niewielkich błędów w pisowni.
- Nie trzeba podawać odpowiedzi na wszystkie pytania, np. brak wyników badań pacjenta.

Efekty działania

- System dokonuje rozpoznania czy pacjent jest chory.
- Określa, czy choroba jest wywołana przez bakterie i je identyfikuje na podstawie symptomów, wyników laboratoryjnych.
- W ostatniej fazie tworzy zestaw skutecznych dla choroby leków, by ostatecznie dopasować najskuteczniejszą terapię dla konkretnego pacjenta.

Przykład działania

- Dodatkowy pdf

1) Please enter information about the patient.

Name	Age	Sex	Race
Sally	42 years	Female	Caucasian

2) Are there any positive cultures obtained from SALLY ?

No

3) Are there any pending cultures of SALLY ?

Yes

4) site: date stain method of collection:
 collected: examined ? urine, sputum only

CSF	3-Jun-75	Yes	N/A
-----	----------	-----	-----

5) stain of smear:

morph:

(type NONE if no organism was seen on the smear)

None

⋮

13) Has SALLY recently had symptoms of persistent headache or other abnormal neurologic symptoms (dizziness, lethargy, etc.) ?

Yes

14) Has SALLY recently had objective evidence of abnormal neurologic signs (nuchal rigidity, coma, seizures, etc.) documented by physician observation or examination ?

Yes

The CSF cultures will be considered to be associated with MENINGITIS.

⋮

MYCIN - przykład dialogu

MYCIN dostaje dane bakteriologiczne, czasy pobierania próbek, nazwisko, płeć, wiek.

4) Czy określono mikrobiologicznie rodzaj możliwej infekcji?

Tak

5) Jakiego rodzaju jest to infekcja?

Primary-Bacteremia

6) Proszę podać kiedy nastąpiły pierwsze objawy infekcji.

15-Stycz-93 11:30

7) Skąd pochodzą próbki pierwszej kultury bakteryjnej?

Krew

8) Kiedy otrzymano próbki kultury bakteryjnej z krwi?

16-Stycz-93 12:00

MYCIN - dialog cd.

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

Nieznany.

10) Czy organizm-1 jest pałeczką czy ziarnkowcem?

Pałeczką

11) Jaki jest odczyn organizmu-1

gramonegatywny

12) Czy organizm-1 rozwijał się aerobowo? tak

13) Czy organizm-1 rozwijał się anaerobowo? tak

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)

MYCIN – zaawansowana współpraca z ekspertem

System może pytać eksperta:

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?

Tak

Które?

Pseudomonas-aeruginosa

Czy chcesz

- 1) sam szukać problemu
- 2) skorzystać z moich możliwości
- 3) zająć się tym później?

MYCIN - dialog cd.

Zacznijmy od *Pseudomonas-aeruginosa*

Następujące reguły doprowadziły do tej konkluzji:

REGUŁA 184

- Ponieważ
- (1) typ organizmu nie jest znany
 - (2) odczyn organizmu jest gramujemny
 - (3) morfologia organizmu to pałeczka
 - (4) aerobiczność nie jest specyficzna

Istnieją pewne słabe poszlaki (0.3), że organizm-1 to *Pseudomonas-aeruginosa*

Czy ta reguła jest słuszna? tak

czy któreś z założeń nie było prawdziwe? tak

które?

MYCIN - dialog cd.

czy można było określić typ organizmu?

tak

jaki?

enterobacteriaceae

Następujące reguły odnoszące się do bakterii tego typu nie zostały użyte gdyż ich przesłanki nie były prawdziwe.

.....

Czy należało użyć którąś z nich?

nie

czy brakuje jakiejś reguły?

tak

proszę o podanie reguły

IF ... tu ekspert wpisuje regułę.

MYCIN - dialog cd.

Po przeanalizowaniu system odpowiada:

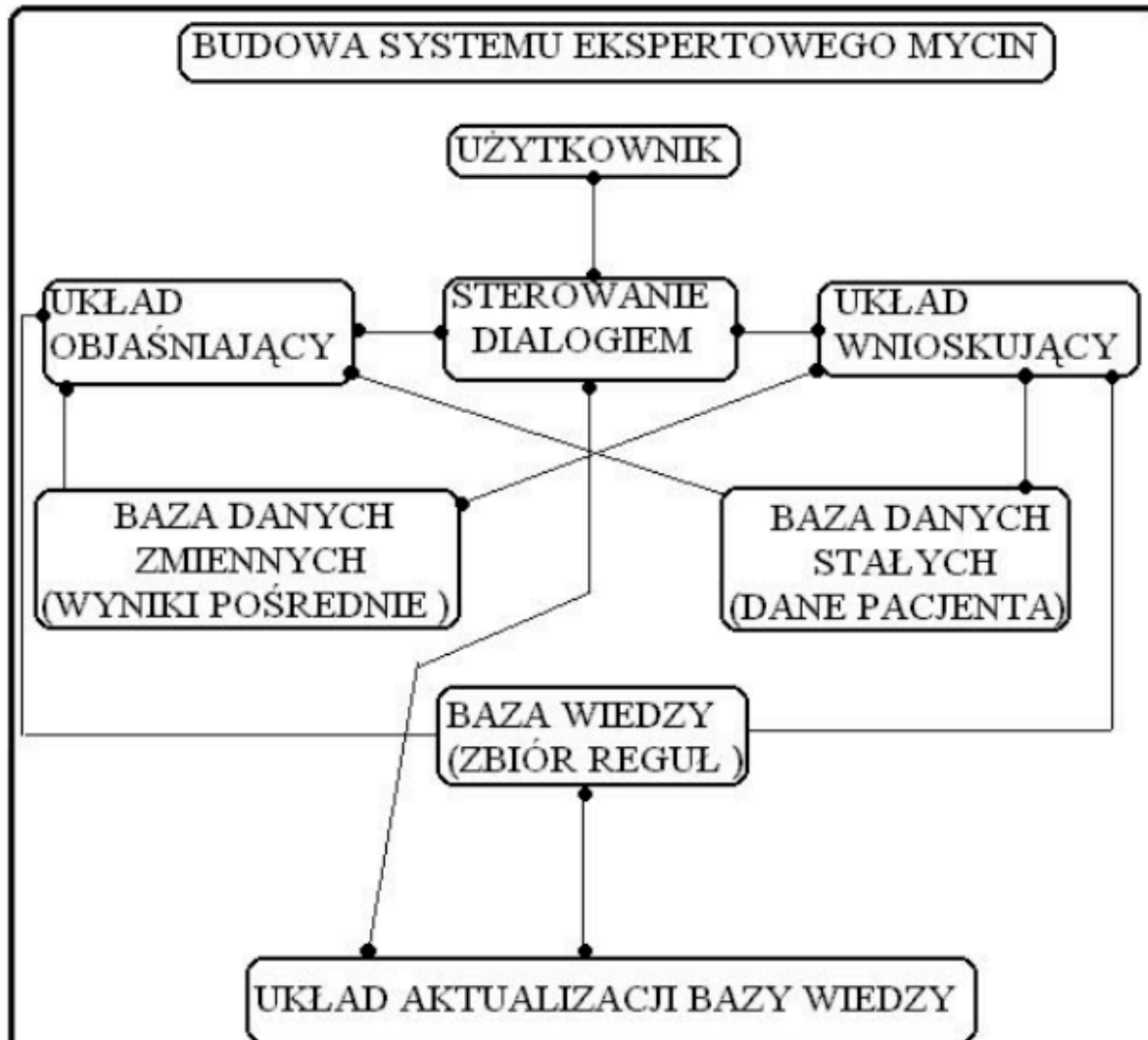
nie lubię pana krytykować, doktorze X, ale czy wie pan, że większość reguł, określających typ organizmu, które dotyczą infekcji miejsca rozwoju kultury bakteryjnej wspominają również o sposobie wniknięcia do organizmu

czy mam dodać odpowiedni warunek?

tak

TEREISIAS sprawdza, czy dodanie reguły usunęło problem i prosi eksperta o komentarz, dlaczego dodano nową regułę. Komentarz ten przydatny jest w przypadku pojawienia się problemów na skutek korzystania z nowej reguły w nowych sytuacjach.

Budowa systemu MYCIN



TEIRESIAS: tworzenie baz wiedzy dla MYCIN-a

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.

Przykład reprezentacji faktów

(*<OBJEKT, <wartość, <wartość>*)

Przykład:

(Anna, hair, blond)

Możliwe inne konwencje: np. <O, A, V, CF>, <Obj.,
Atr.1, Atr.2, Atr3,..>

Hierarchizacja bazy faktów → sieci sematyczne, ramy

Z faktami związane są informacje pomocnicze, np.:

- tekst w języku użytkownika,
- dziedzina wartości, ograniczenia na przyjmowane wartości,
- lista reguł związanych z faktem,
- znaczniki kontrolne np. użycia faktu. ostatniego czasu dostępu

Reguły

- Oryginalnie zapis w LISP
- Rozszerzona informacja

Superstructure	Contained in rule sets	
Conditional Information	IF <Antecedent>	THEN <Consequent>
	Date	
	Author	
	Uses	
Translation	Compiled form	
	English form	
	Terse form	
Control.	When to trace	
	Active	

MYCIN - weryfikacja

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](#).

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](#).

Dlaczego nie ma SE w szpitalach?

Po co ES?

Dlaczego?

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.

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

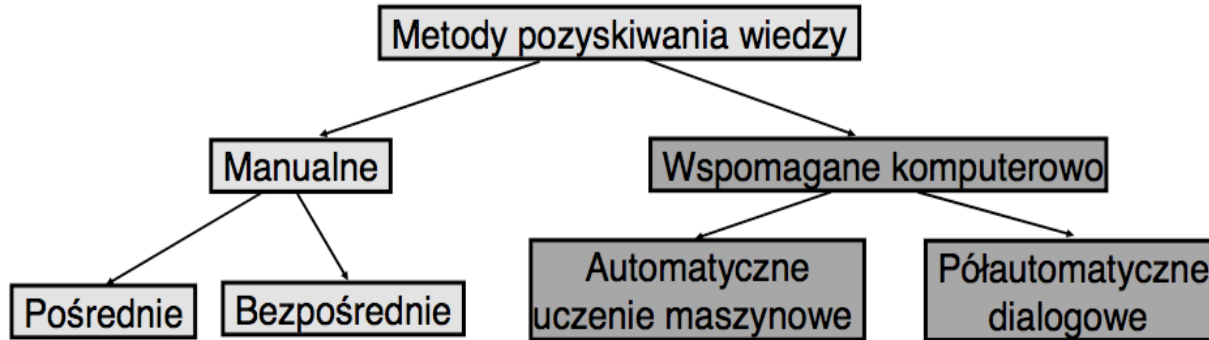
Etapy tworzenia SE

- Analizy problemu - oceny, czy budowa SE dla danego problem ma sens.
- Specyfikacji systemu - szczegółowego określenia funkcji i oczekiwań.
- Akwizycji wiedzy (Pozyskiwanie wiedzy) - zgromadzenia, wydobywania z ekspertów i organizacji wiedzy.
- Wyboru metody reprezentacji wiedzy i narzędzi do budowy systemu.
- Konstrukcji systemu - utworzenia bazy wiedzy, reguł wnioskowania, systemu wyjaśniającego rozumowanie i prowadzenia dialogu z użytkownikiem.
- Weryfikacji i testowania systemu.

Pozyskiwanie wiedzy eksperckiej

Pozyskiwanie wiedzy do Bazy wiedzy

„Wąskie gardło” SE – Problem Ekstrahowania wiedzy



Metody manualne: wywiady, obserwacje, dyskusje z ekspertem, kwestionariusze, raport eksperta, „burza mózgów”

Metody półautomatyczne – metody „dialogowe” lub trenowanie systemu.
Dotyczy również zdobywania w czasie eksploatacji

Metody automatyczne – bez udziału inżyniera wiedzy. Wiedza zdobywana jest na bieżąco i na bieżąco wykorzystywana.

Uczenie maszynowe na podstawie wyjaśnień (ang. *explanation – based learning*)
oraz uczenie maszynowe na podstawie przykładów (ang. *empirical learning*)

Pozyskiwanie 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
- szukanie w Internecie ...

Przykłady systemów

- DENDRAL (poł. lat 60-tych, Stanford University, Bruce Buchanan, Edward Feigenbaum i laureat nagrody Nobla – Joshua Lederberg, nakład pracy 15 osobo-lat), system lepiej określa strukturę cząstki chemicznej niż większość chemików
- MYCIN (od 1972, 1974, 1979 Stanford, nakład pracy 52 osobo-lata), pomaga w wyborze terapii przeciwbakteryjnej dla pacjentów z chorobami infekcyjnymi krwi (identyfikacja drobnoustrojów, wybór leku i dawkowania)
- INTERNIST/CADUCEUS (od 1974 University of Pittsburgh) diagnozowanie, system osiągnął sprawność 85% medycyny wewnętrznej (interny)

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)

Pakiety graficzne (np. AUTOCAD), interfejsy użytkownika
Specjalne komputery dla Lispu: stacje SYMBOLICS

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)))) )
```

Języki ES cd

Prolog (Programming in Logic), Marsylia i Edynburg.
Realizacja rachunku predykatów pierwszego rzędu, do prototypów, Prolog w projekcie V generacji; raczej mniejsze systemy lub prototypy.

Inne: POP-2 do POP-5, FUZZY

Expert System Shells (ESS):

EMYCIN, KAS (Knowledge Aquisition System), OPS5, KEE, Knowledge Engineering Environment, KES

ESS: czas opracowania systemu 10-20 razy krótszy

Ostatnio również języki zorientowane obiektowo: C++, Smalltalk, Dylan.

Systemy dedykowane i systemy szkieletowe

- Systemy dedykowane są tworzone od podstaw dla konkretnej klasy zadań. W szczególności dla konkretnej wiedzy proponuje się jej formalizację, reprezentację, mechanizmy wnioskowania, tłumaczenia i komunikacji.
- Systemy szkieletowe są systemami ogólnego przeznaczenia. Nie posiadają żadnej wiedzy dziedzinowej – w tym sensie są puste. Dopiero po wprowadzeniu takiej wiedzy stają się systemami użytkowymi. Każdy system szkieletowy ma jednak ustalony formalizm dla reprezentowania wiedzy, ustalony mechanizm wnioskowania, wyjaśniania i komunikacji.

Przykłady systemów szkieletowych

- EMYCIN, ART (Inference Corp.),
 - KEE (Intellicomp),
 - OPS5 (Ofical Production System),
 - Nexpert Object (Neuron Data),
 - CLIPS (NASA),
 - *XPertRule*,
 - ART*Enterprise,
 - EXSYS Professional,
 - RT-Expert,
 - GEST (Generic Expert System Tool)
-
- Szukaj informacji np. na www.cs.cofc.edu/%7Emanaris/ai-education-repository/index.html

Polskie przykłady

Antoni Niederliński: Regułowe – modelowe systemy ekspertowe z rodziny RMSE / Politechnika Śląska w Gliwicach.

Wersje edukacyjne <http://www.rmse.pl>

Krzysztof Michalik: PC-Shell 4.1 dla Windows. Szkieletowy system ekspertowy. Katowice 2004

Pakiet Sphinx / CAKE

AITech Artificial Intelligence Laboratory

www.aitech.com.pl

Kheops, RuleGraf, Expert2 (AGH, A.Ligęza, G.Nalepa).

Pakiet SPHINX

- SPHINX jest dobrze zintegrowanym pakietem oprogramowania narzędziowego z zakresu sztucznej inteligencji. W jego skład wchodzi następujące komponenty:
 - system PC-Shell – szkieletowy system ekspertowy,
 - system Neuronix – symulator sieci neuronowej,
 - system CAKE – system komputerowego wspomaganie inżynierii wiedzy,
 - system HybRex – system do budowy inteligentnych aplikacji SWD i analizy danych,
 - system Predyktor – system prognostyczny,
 - system DeTreeX – indukcyjny system pozyskiwania wiedzy,
 - system dialogEditor – system wspomagający tworzenie interfejsu użytkownika,
 - system demoViewer – system do prezentacji aplikacji pakietu SPHINX,
 - aplikacje demonstracyjne,
 - obszerna dokumentacja z dużą liczbą przykładów.

Zalety i wady ES

- Przydatne do rozwiązywania złożonych problemów, w dziedzinach, w których zgromadzono wystarczającą wiedzę
- Potrafią odpowiadać na pytania prezentując swoje konkluzje w intuicyjny zrozumiały sposób, nie potrzeba programistów by zrozumieć ich działanie.
- Zwykle oparte są na jednolitym sposobie reprezentacji wiedzy, np. regułach lub ramach.

Wady:

- Wąska specjalizacja -> brak zdolności uogólnień oraz uczenia się (uczenie maszynowe nie jest na ogół połączone z SE)
- Trudno jest pozyskiwać wiedzę
- Weryfikacja bazy wiedzy trudnym zadaniem, np. trudno jest przewidzieć, jakie będą skutki dodania nowej wiedzy, rozumowanie zdroworozsądkowe jest trudne.
- Traktowanie niepewności nadal jest rzadko spotykane.

Literatura

Spójrz do:

- L.Owoc: Elementy systemów ekspertowych, Wydawnictwo AE we Wrocławiu, Wrocław, 2006.
- J.Zieliński (red.): Inteligentne systemy w zarządzaniu. Wydawnictwo PWN, Warszawa 2000.
- M.Nycz (red.): Generowanie wiedzy dla przedsiębiorstwa: metody i techniki. Wydawnictwo AE we Wrocławiu, Wrocław, 2004.

Ponadto:

- Niederliński A. Regułowe systemy ekspertowe, PKJS, Gliwice 2000.
- Mulawka J., Systemy ekspertowe, WNT, Warszawa, 1996.
- Cholewa W., Pedrycz W., Systemy doradcze, Pol. Śląska, Gliwice 1987.