

Inżynieria wiedzy

Podstawowe wiadomości o
systemach ekspertowych

I. Podstawowe wiadomości o systemach ekspertowych

1. Podstawowe koncepcje systemów ekspertowych
2. Właściwości systemów ekspertowych
3. Baza wiedzy
4. Narzędzia do tworzenia systemów ekspertowych
5. Systemy ekspertowe czasu rzeczywistego

1. Podstawowe koncepcje systemów ekspertowych

System ekspertowy:

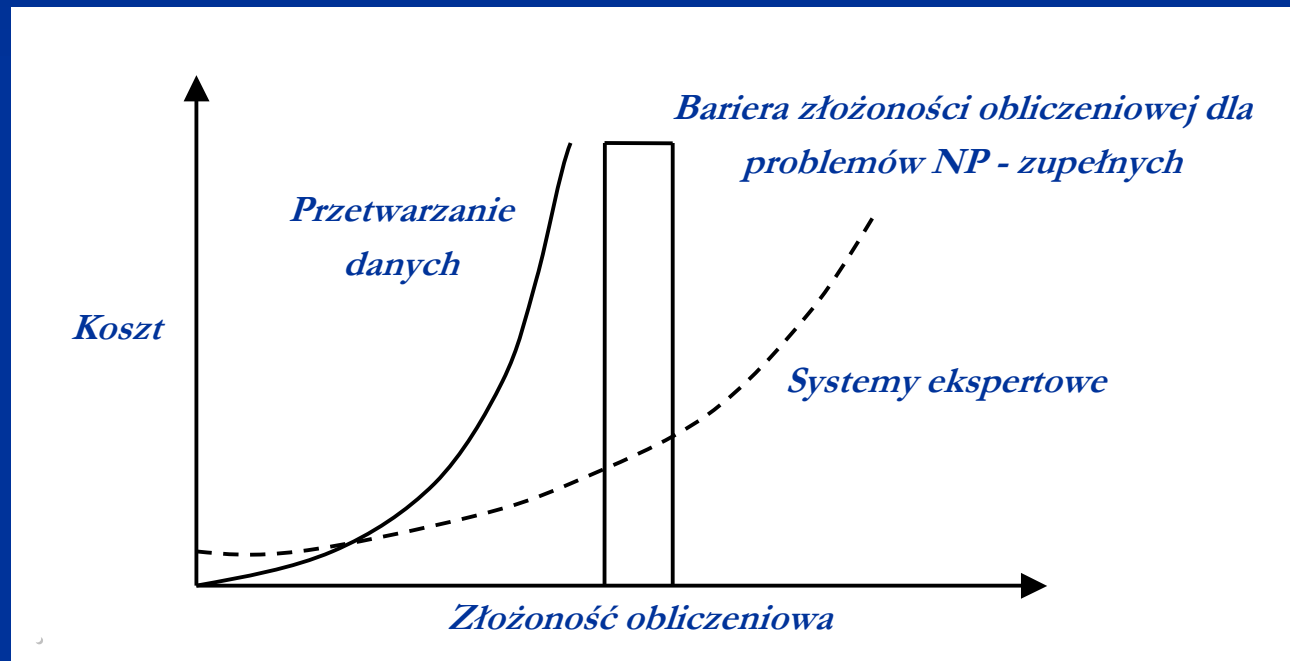
- program komputerowy wykonujący złożone zadania o dużych wymaganiach intelektualnych i robiący to tak dobrze jak człowiek będący ekspertem w tej dziedzinie
- system, który niekoniecznie zastępuje eksperta – człowieka
- program komputerowy przeznaczony do rozwiązywania specjalistycznych problemów, które wymagają profesjonalnej ekspertyzy

Podział systemów ekspertowych:

- *doradcze (advisory)*
- *podejmujące decyzje bez kontroli człowieka (dictatorial)*
- *krytykujące (criticizing)*

Systemy ekspertowe stosuje się:

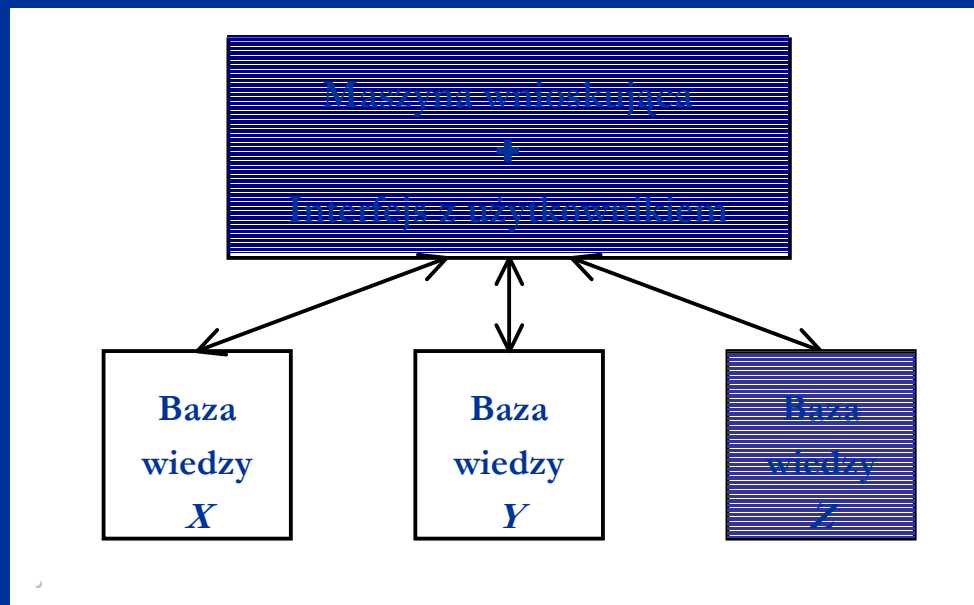
- w wielu przypadkach w takich dziedzinach, gdzie informacja (wiedza) o danej dziedzinie jest niepewna
- w rozwiązywaniu problemów NP-zupełnych, w których złożoność obliczeniowa (czyli liczba kroków koniecznych do rozwiązania) jest funkcją wykładniczą ich rozmiarów.



Przetwarzanie wiedzy umożliwia pokonanie bariery złożoności obliczeniowej problemu

Inżynieria wiedzy (knowledge engineering) – należy do zagadnień procesu konstruowania wiedzy. Obejmuje w szczególności tworzenie metod programowania dla:

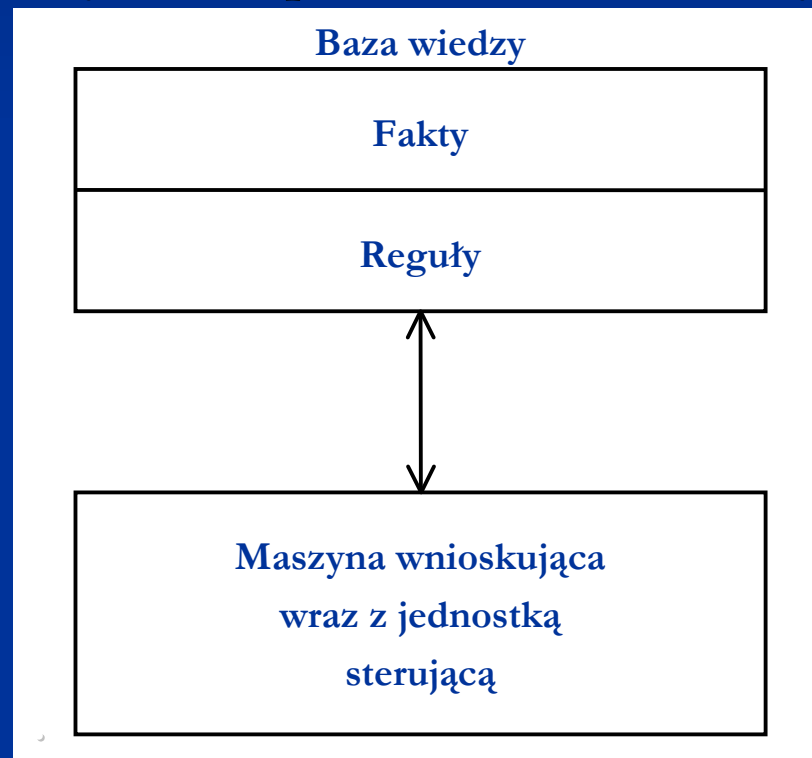
- pozyskiwania i strukturalizacji wiedzy ekspertów
- dopasowania i wyboru odpowiednich metod wnioskowania i wyjaśniania rozwiązywanych problemów
- projektowania odpowiednich interfejsów (układów pośredniczących) między komputerem a użytkownikiem



Ogólna struktura systemu ekspertowego

Podstawowe bloki systemu ekspertowego

- *baza wiedzy (knowledge base)* – znajduje się w niej wiedza dotycząca danej dziedziny. Jest odseparowana od reszty systemu
- *maszyna wnioskująca (inferencje engine)* – zawiera m.in. sterowanie wiedzą, które wykorzystuje odpowiednie mechanizmy wnioskowania



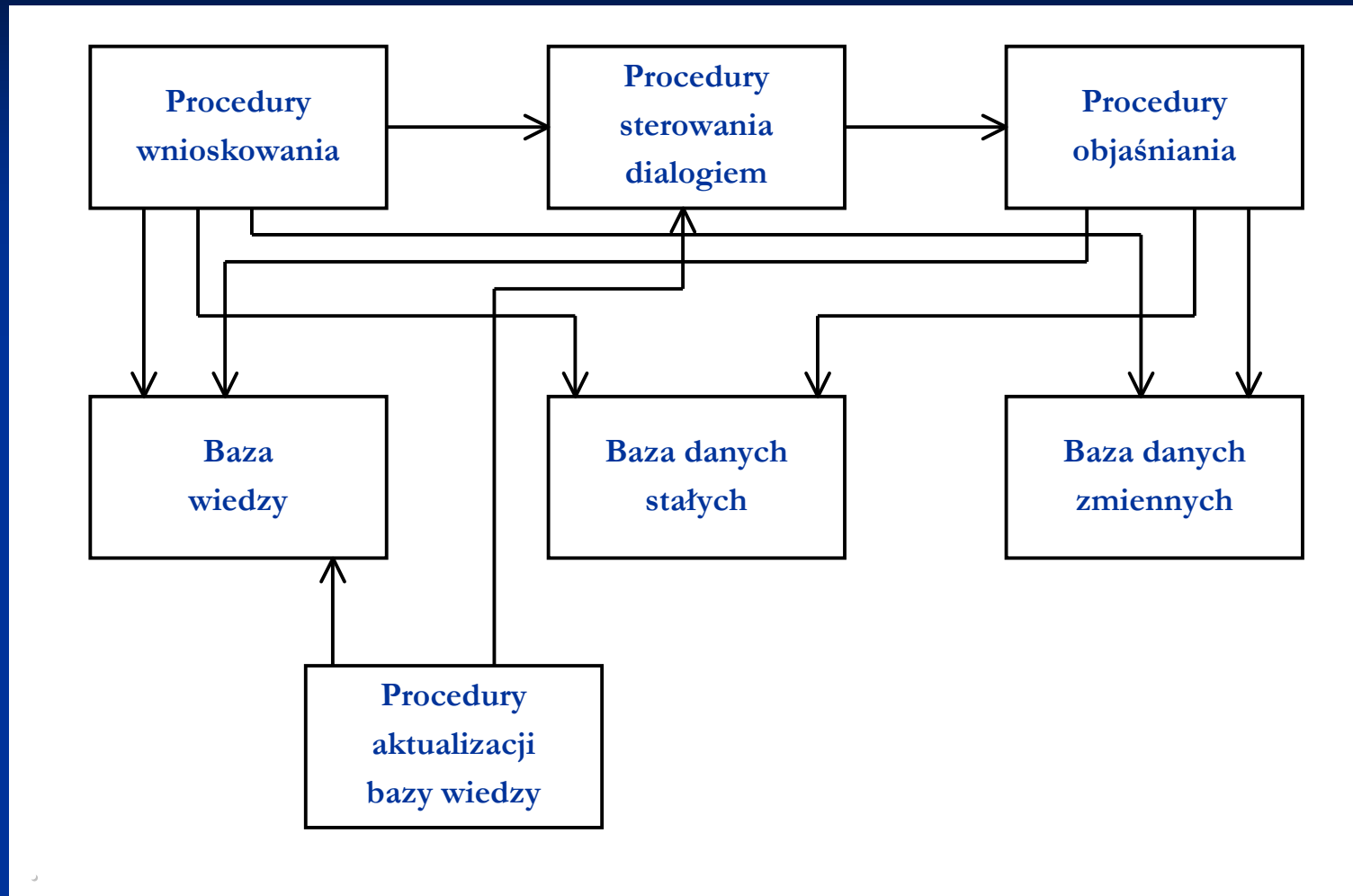
Podstawowe bloki systemu ekspertowego

Struktura systemów ekspertowych

Struktura systemów ekspertowych składa się z następujących elementów:

- *baza wiedzy* (np. zbiór reguł)
- *baza danych* (np. dane o obiekcie, wyniki pomiarów, hipotezy)
- *procedury wnioskowania* – maszyna wnioskująca
- *procedury objaśniania* – objaśniają strategię wnioskowania
- *procedury sterowania dialogiem* – procedury wejścia/wyjścia umożliwiają formułowanie zadań przez użytkownika i przekazywanie do rozwiązywania przez program
- *procedury umożliwiające rozszerzanie oraz modyfikację wiedzy* – pozyskiwanie wiedzy

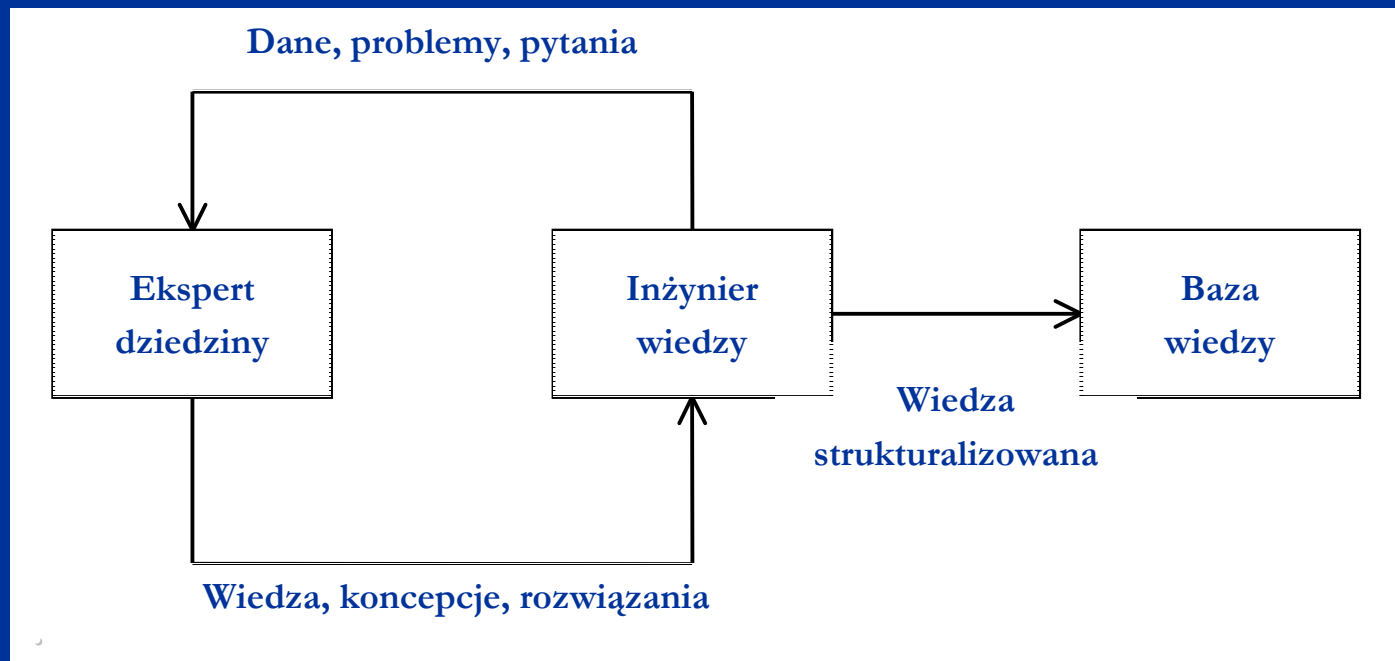
Systemy oparte na bazie wiedzy (knowledge based system) – systemy z bazami wiedzy wydzielonymi od pozostałych modułów programu. Są one często wykorzystywane jako systemy wspomagające podejmowanie decyzji (decision support systems).



Główne elementy systemu ekspertowego

Podstawowe zagadnienia w *systemach* opartych na bazie wiedzy są następujące:

- reprezentacja wiedzy
- pozyskiwanie wiedzy
- sposób użycia wiedzy
- objaśnianie i uczenie się



Typowy proces pozyskiwania wiedzy

Porównanie konwencjonalnego przetwarzania z inżynierią wiedzy

Konwencjonalne przetwarzanie danych

Programista analityk systemów

Program

Baza danych

Reprezentacja i użycie danych

Algorytmy

Efektywna manipulacja bazami danych

Inżynieria wiedzy

Inżynier wiedzy

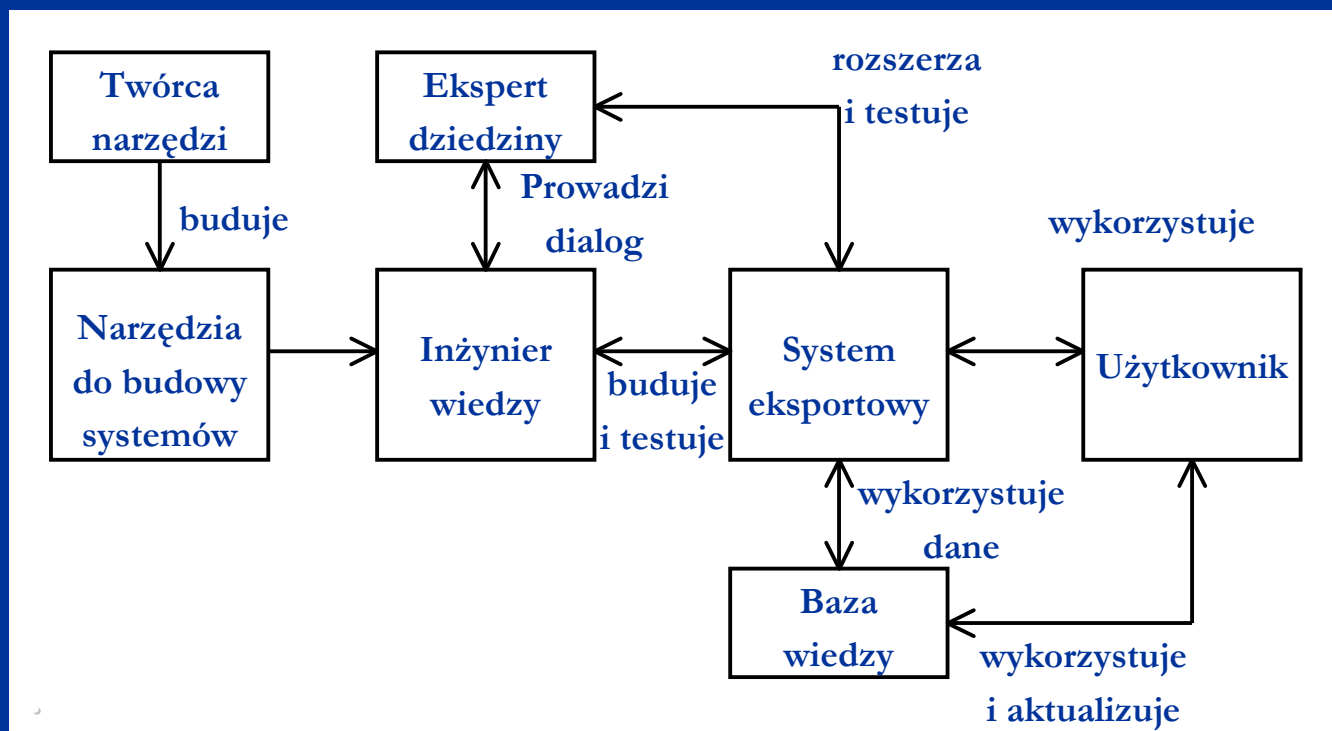
System ekspertowy

Baza wiedzy

Reprezentacja i użycie wiedzy

Heurystyki

Efektywna manipulacja bazami wiedzy



Role twórców systemu ekspertowego

Ekspertyza naturalna, wykonana przez człowieka

Wady:

- traci wartość z upływem czasu
- trudna do przeniesienia
- trudna w dokumentacji
- niedajca się przewidzieć
- kosztowna

Zalety:

- twórcza
- adaptacyjna
- wykorzystanie zmysłów
- szeroki zakres
- wiedza zdrowego rozsądku

Ekspertyza sztuczna

Zalety:

- stała
- łatwa do przeniesienia
- łatwa w dokumentacji
- zgodna z bazą wiedzy
- dostępna

Wady:

- nie inspirująca
- wymaga wprowadzenia wiedzy
- wejścia symboliczne
- wąski zakres
- wiedza przetwarzana w sposób mechaniczny

Porównanie ekspertyzy naturalnej z ekspertyzą sztuczną

Omawiając podstawowe wiadomości o *systemach ekspertowych* należy wspomnieć o jeszcze jednym pojęciu – *konsultacji*. Pod tym pojęciem rozumie się współpracę użytkownika z systemem. Odbywa się przez interfejs z użytkownikiem. Wąskim gardłem interfejsu jest klawiatura.

Rodzaje systemów ekspertowych

Podział *systemów ekspertowych* ze względu na wynik otrzymywany na wyjściu:

- *Diagnoza* – jest to ocena stanu istniejącego na podstawie posiadanych danych. Zagadnienie to jest blisko związane z rozpoznawaniem wzorców. Do tej grupy zalicza się następujące programy:
 - *MYNIC*
 - *CADUCEUS*
 - *EFORA*
 - *DENDRAL*
 - *PROSPECTOR*
 - *HEARSAY*
 - *PUFF*
 - *CASNET*
- *Prognoza* – jest to przewidywanie stanu przyszłego na podstawie istniejących danych. Niektóre programy medyczne, np. *CASNET*, stawiają prognozę stanu (w tym przypadku zdrowia klienta) na podstawie własnej prognozy.
- *Plan* – rozumiany jako opis pewnego stanu, do którego należy dążyć. Jednym z przykładów jest planowanie konfiguracji komputerów systemu *VAX* wykonane przez system *R1*, znany także jako *XCON*, *XSEL* (projektowanie).

<i>Kategoria</i>	<i>Zadania realizowane przez systemy ekspertowe</i>
Interpretacyjne	dedykuj opisy sytuacji z obserwacji lub stanu czujników, np. rozpoznawanie mowy, obrazów, struktur danych
Predukcyjne	wnioskuj o przyszłości na podstawie danej sytuacji, np. prognoza pogody, rozwój choroby
Diagnostyczne	określaj wady systemu na podstawie obserwacji, np. medycyna, elektronika, mechanika
Kompletowania	konfiguruj obiekty w warunkach ograniczeń, np. konfigurowanie systemu komputerowego
Planowania	podjmuj działania, aby osiągnąć cel, np. ruchy robota
Monitorowania	porównuj obserwacje z ograniczeniami, np. w elektrowniach atomowych, medycynie, ruchu ulicznym
Sterowania	kieruj zachowaniem systemu; obejmuj interpretowanie, predykcję, napraw i monitorowanie zachowania się obiektu
Poprawiania	podaj sposób postępowania w przypadku złego funkcjonowania obiektu, którego te systemy dotyczą
Naprawy	harmonogramuj czynności przy dokonywaniu napraw uszkodzonych obiektów
Ilustrowania	systemy doskonalenia zawodowego dla studentów

Rodzaje systemów ekspertowych

<i>Sektor Zastosowanie</i>	<i>Bankowość i ubezpieczenia</i>	<i>Przemysł</i>	<i>Handel i usługi</i>	<i>Sektor publiczny i inne</i>
Monitorowanie Sterowanie	obserwowanie trendów	nadzorowanie procesów, sterowanie procesami, raportowanie specjalnych sytuacji	obserwowanie trendów	monitorowanie reaktorów jądrowych oraz dużych sieci (gazowe, wodne)
Projektowanie		projektowanie zakładów i produktów, komputerów	wybór asortymentów, doradztwo dla rolnictwa	sieci (pocztowe, energetyczne)
Diagnostyka	kredyty, pożyczki na nieruchomości, analiza ryzyka, przetwarzanie skarg	wykrywanie urzędów, utrzymanie zdolności produkcyjnej	kredyty, analiza ryzyka	diagnostyka medyczna, diagnostyka techniczna
Planowanie	analiza ryzyka, planowanie inwestycji	projektowanie funkcji logicznych, planowanie projektu	analiza ryzyka, analiza rynku	planowanie inwestycji, planowanie na wypadek klęski, planowanie dystrybucji

Podstawowe obszary zastosowań systemów ekspertowych

Podział *systemów ekspertowych* ze względu na sposoby realizacji:

- *systemy dedykowane*, które są tworzone od podstaw przez inżyniera wiedzy współpracującego z informatykiem
- *systemy szkieletowe (shells)*, są to systemy z pustą bazą wiedzy

Podział *systemów ekspertowych* ze względu na metodę prowadzenia procesu wnioskowania:

- *z logiką dwuwartościową (Boole'a)*
- *z logiką wielowartościową*
- *z logiką rozmytą*

Podział *systemów ekspertowych* ze względu na rodzaj przetwarzanej informacji:

- *systemy z wiedzą pewną*, czyli zdeterminowaną
- *systemy z wiedzą niepewną*, w przetwarzaniu której wykorzystuje się przede wszystkim aparat probabilistyczny

2. Właściwości systemów ekspertowych

Poprawność systemu

System ekspertowy powinien zapewnić wysoki poziom wydawanych ekspertyz. W tym sensie możemy mówić o poprawności systemu, jeśli:

- daje on dobre rezultaty
- rozwiązuje zadania w czasie dopuszczalnym
- dysponuje strategiami umożliwiającymi imitowanie wiedzy i intuicji eksperta, uzyskanej w wyniku wieloletniego doświadczenia

Dopuszczalny czas rozwiązywania zadania jest pojęciem relatywnym względem samego zadania. Niektóre systemy odznaczają się czasem odpowiedzi mierzonym w sekundach, inne zaś mogą pracować w ciągu długiego czasu (tygodniami – np. system PROSPECTOR). Nie zawsze jednak wydłużanie czasu odpowiedzi poprawia w istotny sposób wyniki działania.

Uniwersalność

Ważną cechą charakterystyczną systemu ekspertowego jest jego zdolność do rozwiązywania obszernej klasy zadań z tej dziedziny. Aby zdolność tę przejawiać, system nie powinien zawierać wielu sztywnych, wcześniej przygotowanych rozwiązań, lecz dużą liczbę reguł obejmujących dostatecznie szeroki zakres heurystyk z dziedziny problemowej.

Powinny one nie tylko umożliwić przeszukiwanie przestrzeni rozwiązań dobrze postawionego zadania. Dostateczna liczba uniwersalnych reguł powinna zapewnić płynne (nie skokowe) pogarszanie się jakości pracy systemu w sytuacji, w której posiadane reguły wnioskowania okazują się niewystarczające.

Uniwersalność rozumiana jako możliwość rozwiązania zadań z różnych dziedzin wiedzy na podstawie strukturalnego podobieństwa reguł wnioskowania jest jeszcze nieosiągalna.

Złożoność

Stopień skomplikowania *systemu ekspertowego* jest w naturalny sposób określony przez dziedzinę, dla której jest wykonany. W tym aspekcie wstępuje paradoksalne zjawisko, że problem niezbyt skomplikowany, o krótkim i mało rozgałęzionym drzewie przeszukiwań czyni konstrukcję nieopłacalną, ponieważ problem taki łatwiej jest rozwiązać używając zwykłych programów.

Ogólnie ocena *złożoności systemu* jest w pewien sposób możliwa – na przykład przez liczbę reguł wnioskowania, wielkość bazy danych itp.

Klasyfikacja systemów ekspertowych ze względu na liczbę reguł:

- małe (100 – 300 reguł)
- średnie (300 – 2000 reguł)
- duże (ponad 2000 reguł)

Ze względu na trudności w przeszukiwaniu dużych baz wiedzy w procesie wnioskowania nie stosuje się obecnie więcej niż 10 000 reguł.

Autoanaliza

System ekspertowy powinien uzasadnić użytkownikowi przyjęte rozwiązywanie nie tylko globalne, ale i na każdym etapie, to znaczy każde rozwiązanie częściowe. Dokonuje się tego w ten sposób, że przegląda się drzewo rozwiązania w kierunku wstecznym, tak jakby to było jeszcze jedno zadanie wymagające ekspertyzy.

W *systemach ekspertowych* występuje problem niesprzeczności uzyskiwanych w danym etapie wnioskowania wyników z faktami zawartymi w bazie wiedzy. Odpowiada to zmianie drogi w drzewie rozwiązania. W analizowaniu przez system własnego zachowania istotną rolę odgrywa tzw. *moduł niesprzeczności*.

Ścisły pomiar ilościowy zdolności systemu do *autoanalizy* jest bardzo trudny. Trzeba zauważyć, że nie zawsze *analiza* taka jest możliwa lub potrzebna. Systemy czasu rzeczywistego muszą tak szybko reagować na zmienne warunki otoczenia, że prowadzenie dialogu z człowiekiem jest zwykle niemożliwe. W pewnych dziedzinach jednak wynik jest zrozumiały dla odbiorcy i dodatkowe wyjaśnienia nie są potrzebne.

Zdolność udoskonalania bazy wiedzy

Jedną z podstawowych cech eksperta jest ciągłe rozszerzanie wiedzy o nowe fakty i prawa (reguły wnioskowania). System ekspertowy, jeśli ma być efektywny, powinien również przejawiać tę cechę. Oczywiście dla użytkowników lub konstruktorów zależy, czy bazę wiedzy będzie można rozszerzać czy nie.

Mechanizmy udoskonalające działanie systemów ekspertowych:

- kontroler niesprzeczności nowo wprowadzanych do bazy wiedzy reguł z regułami w niej zawartymi
- kontroler zgodności reguł z nowo wprowadzаныmi faktami
- mechanizm oceny częstości stosowania poszczególnych reguł
- mechanizm rozbudowy istniejącej bazy reguł poza zakres danej bazy wiedzy

Dwa pierwsze elementy mieszczą się w module niesprzeczności, pozostałe należy wbudować jako dodatkową strukturę uczącą. Adaptacyjność nie jest wymagana dla zamkniętych dziedzin wiedzy, będzie natomiast konieczna w systemach dla dziedzin wiedzy, w których występuje duży stopień niepewności i niedostateczna, rozwijająca się baza danych.

3. Baza wiedzy

Rodzaje baz wiedzy

Baza wiedzy zawiera fakty i reguły, które są niezbędne do rozwiązania problemu w specyficznej dziedzinie. Fakty są zdaniami oznajmującymi. Oprócz faktów baza wiedzy zawiera reguły o postaci:

IF warunek THEN wniosek AND/OR akcja

W części warunkowej znajdują się przesłanki, dzięki którym są zadawane pytania o związkach między cechami (charakterystykami) obiektów. Uznanie jakiejś reguły nazywa się *uaktywnieniem reguły* (firing). Dzięki uaktywnieniu *reguł* nowe fakty (wnioski) są dodawane do bazy wiedzy i/lub odpowiednie akcje są wykonywane.

Noszą one często nazwę *systemów regułowych* (rule-based programming). Około 85 % systemów ekspertowych jest opartych na regułach.

Pytania, na jakie musi odpowiedzieć inżynier wiedzy podczas tworzenia bazy wiedzy:

- jakie obiekty należy definiować?
- jakie są relacje między obiektami?
- jak należy formułować i przetwarzać reguły?
- czy pod względem rozwiązywania specyficznego problemu baza wiedzy jest kompletna i spójna?

Rodzaje bazy wiedzy:

- baza tekstów (text base)
- baza danych (data base)
- baza reguł (rule base)
- baza modeli (model base)
- baza wiedzy zdroworozsądkowej (common sense knowledge base)

Baza tekstów – występuje w niej naturalna strukturalizacja zawartych informacji. Przykładem takiej bazy są słowniki zawierające ogólne informacje z danej dziedziny. Baza ta jest nie uporządkowana i w związku z tym operacje na niej mogą być wykonywane w sposób dowolny.

Baza danych – przechowuje specyficzne, szczegółowe informacje, zapisane w sposób uporządkowany. Typ danych jest przeważnie numeryczny. Operacje wykonywane na tej bazie są zdeterminowane.

Baza reguł – zawiera wiedzę o obowiązujących w wybranej dziedzinie zależnościach i jest najważniejszą częścią bazy wiedzy.

Baza modeli – zawiera modele matematyczne danej dziedziny. Modele te są logiczno-matematycznym przedstawieniem pojęcia, systemu lub działań.

Wyróżniamy trzy typy modeli:

- *Model deterministyczny* – jest analitycznym przedstawieniem pojęcia, systemu lub działań, w którym dla danych wielkości wejściowych wyniki są określone jednoznacznie.
- *Model niedeterministyczny* lub *stochastyczny* – to model, w którym powiązania funkcyjne zależą od wielkości losowych. Dla danych wielkości wejściowych wyniki mogą być jedynie przewidziane zgodnie z zasadami probabilistyki.
- *Model wartości oczekiwanych* – to model, w którym wielkościom losowym zostały nadane ich wartości oczekiwane.

Baza wiedzy zdroworozsądkowej – odzwierciedla potencjalne, racjonalne zachowania człowieka. Zawiera ona reguły definiujące sposoby podejmowania decyzji, reprezentujące metawiedzę systemu ekspertowego.

Metawiedza - stanowi wiedzę o wiedzy, czyli o sposobie przetwarzania wiedzy z danej dziedziny. Syntaktyka i semantyka metawiedzy jest obecnie najslabiej poznana częścią systemu ekspertowego.

Struktura systemu ekspertowego stanowi jakościową zmianę w zakresie programowania komputerów. Możliwa jest prosta adaptacja programu opracowanego w ramach jednej dziedziny do zastosowań w innej dziedzinie. Konkluzja reguły jest w tym przypadku opisem pewnego działania wykonanego przez program, a nie stwierdzeniem.

Programy redakcyjne do tworzenia baz wiedzy

Poprawny i efektywny edytor tekstowy ułatwia tworzenie bazy wiedzy przez uproszczenie wprowadzania danych i eliminację niektórych błędów. Wczesne wersje systemów ekspertowych nie były zdolne wykrywać błędów zaistniałych w bazie wiedzy.

Właściwości programów redakcyjnych:

- wygodny dla użytkownika sposób komunikacji i automatyzowane operacje rejestracji przy rozmieszczeniu informacji
- kontrolowanie ortograficznej i syntaktycznej poprawności wprowadzanej informacji tekstowej
- sprawdzenie semantycznej niesprzeczności między dotychczasową zawartością bazy danych a nowo wprowadzanymi faktami.

Często stosuje się odpowiednie systemy okien i wprowadzania informacji w postaci graficznej, aby maksymalnie ułatwić użytkownikowi tworzenie bazy wiedzy. Systemy najbardziej rozwinięte dokonują analizy semantycznej wprowadzanych danych. Sprawdzają kompletność i spójność nowych informacji z już wprowadzonymi, wykrywając ewentualne błędy znaczeniowe.

Przebudowa bazy wiedzy

Wykrycie błędów w działaniu systemu, spowodowanych niewłaściwie wykonaną bazą wiedzy, powoduje konieczność dokonania w niej zmian. Jednakże usunięcie jednej pomyłki może spowodować następną. Aby uniknąć takiej sytuacji, jest stosowana *kontrola poprawności semantycznej i automatyczne testowanie*.

Możliwości takie ma na przykład system TEIRESIAS, w którym najpierw bada się, jaki typ reguły będzie najlepiej korygował błędne działanie systemu. Następnie jest tworzony pewien model nowej reguły i zostaje wypróbowany w wielu wariantach. Wersja najlepiej pasująca do bazy danych zostaje przyjęta.

Innym sposobem kontroli poprawności przebudowy jest *automatyczne testowanie*. Polega ono na stosowaniu postulowanego wariantu przekształconej bazy wiedzy do pewnego zestawu zadań testowych o znanych rozwiązaniach, będących do dyspozycji systemu. Jest przyjmowany wariant dający najlepsze wyniki w testach.

Automatyzacja procesu tworzenia bazy wiedzy

Problem automatyzacji bazy wiedzy jest jednym z trudniejszych w dziedzinie systemów ekspertowych. Wiąże się on bezpośrednio z procesem uczenia się. Istniejące systemy w niewielkim stopniu rozporządzają tą umiejętnością. Jednakże efektywność systemu EURISKO, projektującego układy scalone o wielkim stopniu scalenia, uzyskano dzięki możliwości projektowania nowych połączeń (a więc właśnie uczenia się).

Inną trudnością jest występowanie szumu informacyjnego w otoczeniu systemu (błędne dane). W tym przypadku niezbędny jest swego rodzaju filtr, który umożliwiłby oddzielenie takich fałszywych informacji na podstawie ich niezgodności z istniejącą *bazą wiedzy*. Mechanizmy kontroli poprawności danych spełniają po części taką funkcję, jednak należy zwrócić uwagę na fakt, iż szum ma negatywny wpływ na zachowanie się systemu, gdyż fałszywie modyfikuje niedeterministyczne reguły wnioskowania.

4. Narzędzia do tworzenia systemów ekspertowych

Narzędzie programowe (expert system tool) – jest to pakiet, który zmniejsza wysiłek wymagany przy konstruowaniu systemu ekspertowego. *Narzędzia* tego typu mogą zawierać:

- maszynę wnioskującą
- interfejs z użytkownikiem
- procedury do pozyskiwania wiedzy, które umożliwiają konstruowanie kompletnego systemu przez dodanie bazy wiedzy.

Podział narzędzi:

- systemy szkieletowe (expert system shells)
- środowiskowe programy ułatwiające implementację systemu, np. programy ułatwiające zarządzanie bazą wiedzy, programy grafiki komputerowej itd.
- języki systemów ekspertowych, np. Clips, Flops, OPS5 itd.
- języki programowania symbolicznego, np. Lisp, Prolog
- języki algorytmiczne, np. Basic, Pascal, C, C++ itd.

Każde narzędzie odznacza się pewnymi ograniczeniami, tzn. jest ono łatwe do zastosowań w pewnych dziedzinach, ograniczone natomiast w innych. Podczas projektowania *systemów ekspertowych* z wykorzystaniem wspomnianych narzędzi należy wykazać ostrożność przy wyborze narzędzia i odpowiedzieć na pytanie, czy będzie ono odpowiednie dla danego *systemu*.

Systemy szkieletowe

System szkieletowy oferuje następujące udogodnienia inżynierowi wiedzy:

- struktury reprezentowanej wiedzy
- mechanizm wnioskowania
- moduły objaśniające
- struktury kontrolujące przetwarzanie wiedzy

Korzyści, jakie uzyskuje się ze stosowania systemu szkieletowego:

- zapewniają mechanizm dla formalnej reprezentacji wiedzy, np. reguły, ramy
- zapewniają narzędzia do strukturalizacji bazy wiedzy
- mają wbudowany mechanizm wnioskowania
- dają interfejs odpowiedni do utworzenia systemu ekspertowego,
- zapewniają udogodnienia do tworzenia komponentów systemu objaśniającego
- dają narzędzia do sprawdzenia poprawności bazy wiedzy
- dają narzędzia do pozyskiwania wiedzy
- przy tworzeniu systemu nie trzeba znać języka, w jakim system szkieletowy jest napisany

Wady systemów szkieletowych:

- twórca systemu ekspertowego jest ograniczony do możliwości danego narzędzia.
- czasem trzeba poznać język danego systemu szkieletowego
- każdy system szkieletowy ma swoją specyficzną strukturę reguł
- zmiana funkcji systemu jest możliwa, jeśli jest to przewidziane i jest do tego odpowiedni interfejs
- wysokie ceny oraz powiązanie z określonymi typami komputerów

Stosowanie *techniki szkieletowych systemów ekspertowych* umożliwia skrócenie czasu tworzenia oprogramowania w porównaniu z podejściem opartym na konwencjonalnym programowaniu. Czas tworzenia systemu może być oszacowany w jednostkach MM (man-month). Znane są pewne wzory empiryczne określające czas tworzenia systemu:

$$\text{model 1 } MM = 5,2L^{0,91}$$

$$\text{model 2 } MM = 2,4L^{1,05}$$

L – liczba tysięcy instrukcji kodu

Wielkość systemu	Liczba instrukcji Liczba reguł	Czas tworzenia (MM)		
		model 1	model 2	model 3
Małe	2000	9,7	5,0	0,5
	100 – 200			
średnie	8000	34,5	21,0	6 – 8
	500 – 1000			
Duże	120 000	430,0	392,0	18 – 36
	2000 – 10 000			

Porównanie czasów tworzenia (MM) systemów ekspertowych

Można zaobserwować, że dla systemów małych i dużych czas ten zmniejsza się o rząd wielkości.

Języki systemów ekspertowych – służą do tworzenia systemów ekspertowych. Porównując je z językami systemów szkieletowych można stwierdzić, że te ostatnie są łatwiejsze do implementacji. Posługiwanie się językiem systemów ekspertowych stwarza większe możliwości aplikacyjne, ale wymaga większego wysiłku, ponieważ trzeba nauczyć się języka. Należą do nich m.in.: *Clips, Flops, OPS5*.

Języki sztucznej inteligencji – posiadają większe możliwości aplikacyjne w porównaniu do języków przedstawionych powyżej. Należą do nich m.in.:

- *Lisp* – dobrze nadaje się do implementacji sprzętowej, nie posiada wbudowanych mechanizmów wnioskowania.
- *Prolog* – jest językiem przeznaczonym do programowania w logice. Został stworzony na podstawie matematycznego interpretera służącego dowodzeniu twierdzeń.

Języki komputerowe – są to narzędzia bardzo ogólne. Napisanie systemu ekspertowego wymaga jednak większego wysiłku niż przy stosowaniu wcześniej wymienionych narzędzi. Ich zaletą jest możliwość uzyskania szybszego systemu ekspertowego, efektywniejszego wykorzystywania pamięci komputera, a także realizacja różnych czynności, które nie są możliwe do wykonania przy użyciu wcześniej wymienionych narzędzi. Należą do nich m.in.: Pascal, C, C++, Basic, Fortan.

5. Systemy ekspertowe czasu rzeczywistego

Charakterystyka systemów ekspertowych czasu rzeczywistego

Korzyści, jakie można uzyskać używając systemów ekspertowych czasu rzeczywistego:

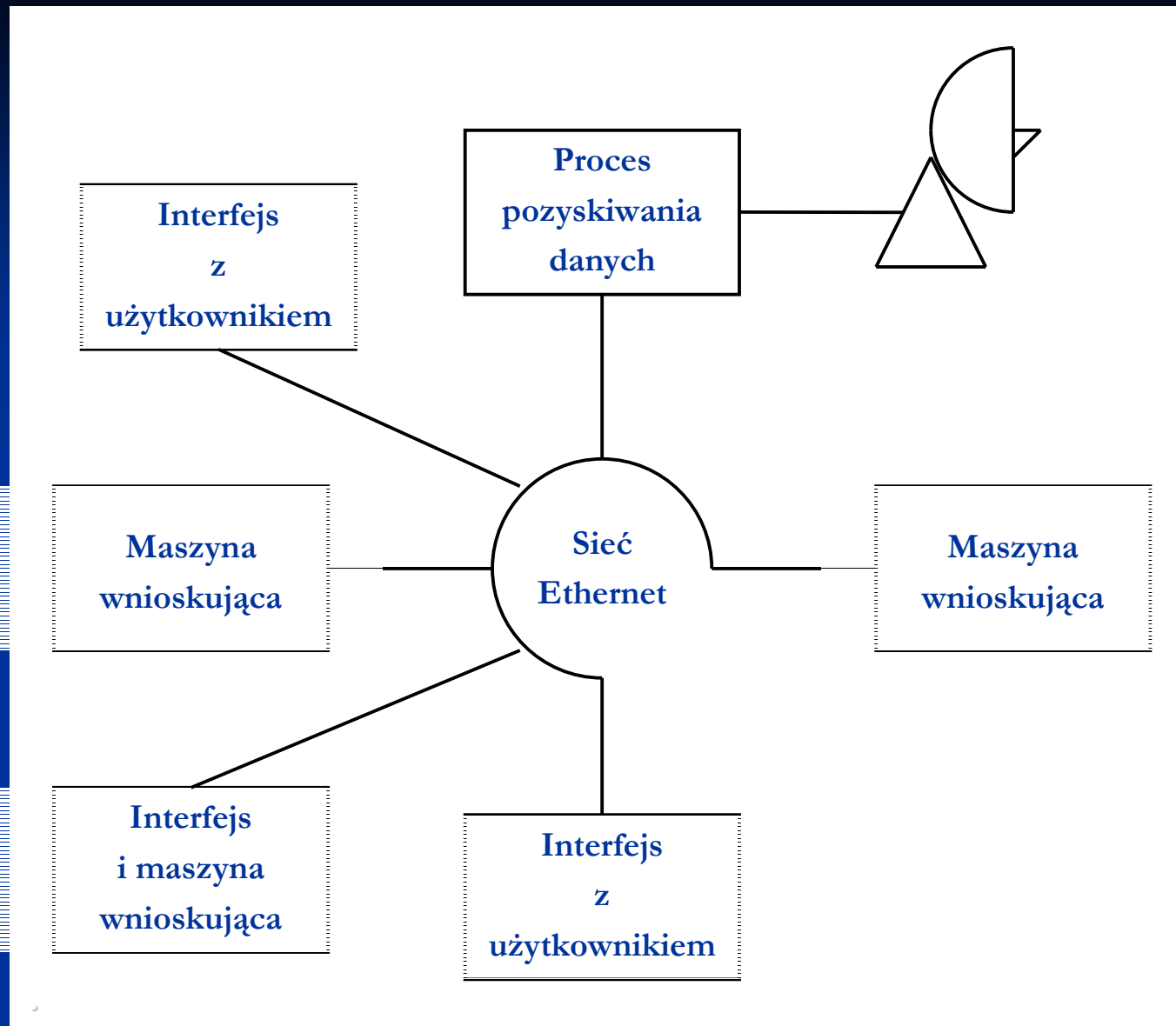
- zmniejszenie liczby operatorów
- zmniejszenie potrzeby ciągłej obecności operatorów o wysokich kwalifikacjach
- zmniejszenie kosztów trenowania operatorów
- polepszenie jakości systemu
- zwiększenie przepustowości systemu
- monitorowanie bardziej spójne o lepsze jakości
- zmniejszenie awaryjności systemu

Systemy te powinny być szybkimi systemami w sensie percepcji – powinny one być szybsze niż człowiek. Dzieli się je na dwie kategorie:

- *systemy pierwszej grupy (hard real-time)* – poprawne rozwiązanie w tych systemach zależy nie tylko od wyników obliczeń, ale także od czasu obliczeń. Musi on spełniać wymagania czasowe.
- *systemy drugiej grupy (soft real-time)* – wykonanie zadania w tych systemach powinno spełniać wymagania czasowe, ale dopuszcza się pewien stopień dokończenia zadania poza określonym przedziałem czasu. Stopień ten maleje monotonicznie poza tym przedziałem.

W obecnych systemach czasu rzeczywistego dane zmieniają się gwałtownie, a czas odpowiedzi jest często mierzony w milisekundach. Ponieważ systemy te muszą spełniać ograniczenia ze względu na czas i pamięć, większość narzędzi do konstruowania systemów ekspertowych jak również systemów szkieletowych nie nadaje się do tego typu aplikacji.

Wymagania stawiane *systemom ekspertowym czasu rzeczywistego* są odmienne od tradycyjnych wymagań stawianych systemom ekspertowym. Wynika to z faktu pochodzenia od czujników sygnałów wejściowych, które monitorują proces. Jednocześnie są wysyłane pewne wiadomości do operatorów (ludzi), aby poinformować, co dzieje się z procesem.



Przykładowa architektura rozproszona systemu ekspertowego czasu rzeczywistego

Dzięki rozdzieleniu kluczowych funkcji systemu na niezależne procesy jest możliwe utworzenie systemu rozproszonego, co czyni go szybszym, mogącym dać więcej odpowiedzi. Architektura rozproszona umożliwia wykorzystanie właściwości pracy asynchronicznej, jak również, w zależności od potrzeb, umożliwia wykorzystanie wielu procesorów.

Typy procesów w systemach ekspertowych czasu rzeczywistego:

- *procesy maszyny wnioskującej* – dotyczą analizy dynamicznych danych w opisie wiedzy za pomocą reguł, klas lub obiektów
- *procesy pozyskiwania wiedzy* – odnoszą się do komunikowania z otoczeniem. W czasie tych procesów są pobierane oraz filtrowane dane od czujników, a następnie wysyłane do dalszego przetwarzania
- *procesy komunikowania się z użytkownikiem* – dotyczą interfejsu graficznego do komunikowania się z użytkownikiem

Podstawowe wymagania stawiane systemom czasu rzeczywistego

1. Reguły wyzwalane co pewien czas

System czasu rzeczywistego jest sterowany czasem a nie przez dane lub cel. Aby zapewnić niezawodną odpowiedź, powinno być zastosowane czasowe wyzwalanie reguł. Polega to na testowaniu reguły co pewien czas, np. co 10 s.

Poniżej została podana składania przykładowej reguły:

REGUŁA: „Niewłaściwe napięcie baterii”

KONTEKST: Manewr

OKRES TESTU: 10 sekund

PRIORYTET: 100

IF bateria1.napięcie < 27.5

THEN bateria1.status := niewłaściwy

Alarm („eps” , „bateria1” , „Napięcie baterii1 jest teraz niewłaściwe, aby odbył się manewr”)

Reguła ta umożliwia wykrywanie anomalii baterii podczas monitorowania manewru np.: satelity. Napięcie ma być testowane co 10 s, gdy satelita jest w trakcie odbywania manewru.

2. Wnioskowanie czasowe

W systemie ekspertowym obiekty i ich atrybuty mogą być podzielone na klasy. Na przykład obiekt „bateria1” należy do klasy bateria z atrybutami takimi jak napięcie, prąd i stan. Wartości atrybutów mogą być mierzone w pamięci komputera.

W systemie czasu rzeczywistego istnieje potrzeba wnioskowania o zachowaniu się w pewnym danym czasie. Wykorzystuje się do tego celu pewne obszary komputera, na przykład tzw. bufor pierścieniowy, gdzie są zapamiętywane serie wartości pomiarowych i związane z nimi znaczniki czasowe. W ten sposób system pamięta dane poprzednie i dzięki temu jest znana historia procesu. Mając te dane można utworzyć reguły umożliwiające wnioskowanie o wydarzeniach przeszłych, bieżących i przyszłych.

REGUŁA: „Niewłaściwe napięcie baterii”

KONTEKST: Manewr

OKRES TESTU: 60 sekund

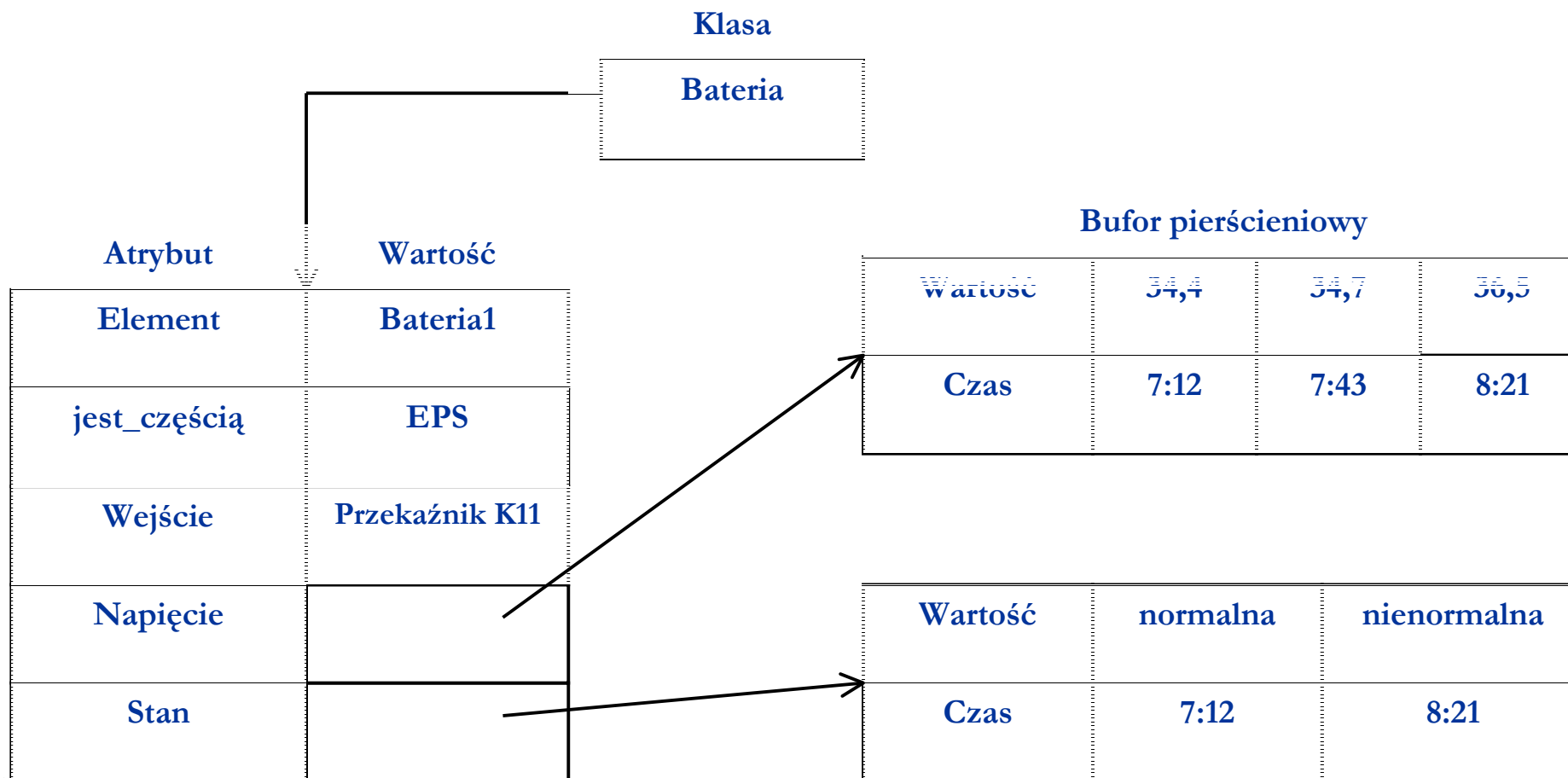
PRIORYTET: 100

IF Min (bateria1.napięcie, 30 sekund) > 35

THEN bateria1.status := niewłaściwy

Alarm („eps” , „bateria1” , „Napięcie baterii1 przekroczyło górne ograniczenie przez co najmniej 30 sekund”)

Reguła ta sprawdza ostatnią wartość napięcia, aby zbadać, czy bateria ma anomalię. W ten sposób można wnioskować o zdolności baterii do poprawnej pracy w dłuższym czasie.



Organizacja pamięci z buforami pierścieniowymi

Koncentracja uwagi

Kiedy zachodzi ważne wydarzenie, *system ekspertowy czasu rzeczywistego* powinien skupić swoje środki na rozwiązaniu powstających problemów. W tym celu system może włączyć kilka metod rozwiązywania danego problemu ze zmianą zestawu czujników, jakie w danych chwili system monitoruje; następnie wywołać nowy zestaw reguł specjalizujących się w bieżącym problemie; dokonać zmiany częstotliwości próbkowania lub sposobu filtrowania aktualnie analizowanych danych; przeprowadzić aktywowanie jeszcze jednej maszyny wnioskującej do analizowania tego wydarzenia. Dzięki właściwości skupiania uwagi system może mieć bardzo obszerną bazę wiedzy, ale stosować tylko jej pewną część, wymaganą w danej specyficznej chwili.

Działanie ciągłe

System powinien pracować w sposób ciągły i niezawodny. Przy przetwarzaniu symbolicznym są wymagane komputery o dużej pamięci operacyjnej, ponieważ podstawowymi strukturami danych są listy, które cechują się dużą zajętością pamięci. Listy są strukturami dynamicznymi, tworzonymi automatycznie w czasie wykorzystania programu. Listy, do których nie ma wskazań, są traktowane jako nieużytki. Zwykle jest wymagany pewien odstęp czasu, aby odzyskać pamięć zajmowaną przez te nieużytki.