

INŻYNIERIA WIEDZY W SYSTEMACH EKSPERTOWYCH

Streszczenie

W artykule zaprezentowane zostały osiągnięcia w dziedzinie inżynierii wiedzy ze szczególnym uwzględnieniem systemów opartych o wiedzę. Została przedstawiona koncepcja budowy systemu ekspertowego, która zawiera proces pozyskiwania oraz reprezentacji wiedzy. W zakończeniu dokonano podsumowania jednego najtrudniejszych zagadnień w dziedzinie sztucznej inteligencji tj. automatycznego pozyskiwania wiedzy na podstawie danych, co stanowi wąskie gardło w ich rozwoju.

Abstract

The article presents assumptions for knowledge engineering, emphasizing threats of expert systems. It defines knowledge, concept and structure of knowledge-based system and expert system. Main aspects of knowledge representation concepts as well as methods of acquiring knowledge have been also described. Whole article has been summarized by a debate over a progress in the context of a fundamental challenge in artificial intelligence – the automated knowledge acquisition from data and the representation of this knowledge to support understanding and reasoning processes.

1 WPROWADZENIE

Aktualnie można zaobserwować, że problematyka inżynierii wiedzy (ang. *knowledge engineering*) oraz systemów ekspertowych uważana jest za jeden z ważniejszych obszarów i kierunków rozwojowych współczesnej informatyki. Inżynieria wiedzy to stosunkowo nowy dział inżynierii i nauki zarazem. Staje się ona dziedziną interdyscyplinarną, gdzie współpracują: psychologowie, kognitywiści, informatycy i matematycy. Obecnie można wyróżnić kilka nurtów w jej rozwoju poczynając od wąsko rozumianej inżynierii sztucznej inteligencji i automatycznego uczenia się, inżynierii wydobywania wiedzy ukrytej z dużych zbiorów danych, kończąc

¹ Dr inż. Ryszard Wieleba jest wykładowcą w Warszawskiej Wyższej Szkole Informatyki.

na inżynierii przetwarzania tekstu, czyli także wydobywania wiedzy, ale wyrażonej w formie słownej. W niektórych źródłach używa się pojęcia *knowledge science*, czemu odpowiada polskie pojęcie *naukoznawstwo*, które ma inne, tradycyjne znaczenie, o odcieniu filozoficznym obejmującym epistemologię i inne dziedziny pokrewne. Taką dziedziną pokrewną jest np. zarządzanie wiedzą, które historycznie wyrosło z informatyki, a dzisiaj jest traktowane również jako przedmiot nauk o zarządzaniu.

W niniejszym artykule termin „inżynieria wiedzy” używany jest w znaczeniu sztucznej inteligencji i dotyczy budowy tzw. baz wiedzy. Podstawowym zadaniem tak rozumianej inżynierii wiedzy jest zbieranie i formalizacja wiedzy ekspertów do formy reguł używanych przez systemy ekspertowe. Systemy ekspertowe, jako pierwsze spośród wielu dyscyplin sztucznej inteligencji znalazły szerokie zastosowanie praktyczne. Toteż nieprzypadkowo zostały nazwane, jako stosowana „sztuczna inteligencja”.

Systemy ekspertowe w swojej naturze są systemami informatycznymi przeznaczonymi do rozwiązywania specjalistycznych problemów wymagających profesjonalnej ekspertyzy opartej na wiedzy, a zatem są związane z jej pozyskiwaniem i przetwarzaniem. Podstawową ideą systemu ekspertowego jest przeniesienie wiedzy eksperta do systemu wyposażonego w bazę wiedzy. Niestety, okazuje się, iż zagadnienie pozyskiwania wiedzy jest jednym z najtrudniejszych w dziedzinie systemów ekspertowych i stanowi wąskie gardło w ich rozwoju.

Reprezentacja wiedzy jest pojęciem podstawowym dla różnego rodzaju procesów decyzyjnych oraz wnioskowania i stanowi jeden z podstawowych problemów, który nie został w pełni rozwiązany. W inżynierii wiedzy, reprezentacja wiedzy traktowana jest jako sposób przedstawienia w języku formalnym całego zakresu wiedzy wymaganej dla inteligentnego zachowania systemu. Do głównych aspektów reprezentacji wiedzy zalicza się syntaktykę, jako struktury reprezentacji (język), semantykę, czyli znaczenie reprezentowanej wiedzy (interpretacja) oraz wnioskowanie, czyli proces, w wyniku którego wiedzę wykorzystuje się do wyprowadzenia wniosków.

W artykule, po określeniu pojęć podstawowych takich jak wiedza, system oparty na wiedzy oraz system ekspertowy, przedstawiono wybrane metody reprezentacji i pozyskiwania wiedzy w systemach ekspertowych.

2 WYBRANE POJĘCIA PODSTAWOWE

2.1 Wiedza

W filozofii nauką o naturze wiedzy jest epistemologia. Można więc całą dziedzinę określić mianem eksperymentalnej epistemologii². Od wielu lat debatuje się nad podstawowymi pytaniami, takimi jak: „Czym jest wiedza? ”, „Jak w komputerze reprezentować wiedzę? ”. W sztucznej inteligencji podchodzi się do tego problemu pragmatycznie: reprezentacja wiedzy to kombinacja struktur danych i procedur interpretacyjnych tak dobranych, że ich właściwe użycie prowadzi do inteligentnego zachowania.

W literaturze przedmiotu w zasadzie nie ma jednoznacznej, akceptowanej przez większość, definicji wiedzy. Wiedza (ang. *knowledge*) jest pojęciem rozumianym przez prawie każdego i stąd też ma bardzo wiele znaczeń.

W ujęciu „filozoficznym” wiedza jest ujmowana jako *zbiór uzasadnionych przekonań*. W ujęciu „naukowym” – jako *zbiór uzasadnionych empirycznie, logicznie lub matematycznie stwierdzeń, które można poddawać falsyfikacji i krytyce*. Natomiast w życiu „potocznym” za wiedzę uznaje się zbiór doświadczeń i przekonań.

W podręcznikach encyklopedii definicja wiedzy zajmuje wiele stron. Najczęściej spotkać można następujący sposób pojmowania wiedzy:

- myśląc o świecie zwykle myślimy o przedmiotach, **objektach**;
- potrzebujemy natomiast **metody do reprezentacji** obiektów i kategorii;
- oprócz obiektów mamy **zdarzenia**;
- oprócz informacji o samych zdarzeniach trzeba znać również następstwa przyczynowe i sekwencje czasową zdarzeń.

Jeśli chodzi o procedury, umiejętności, uważa się, że to znacznie trudniejszy typ wiedzy. Jest to wiedza, którą trzeba nabyć w procesie interakcji z rzeczywistością. *Można bowiem wiedzieć jak jeździć na rowerze, dobrze gotować, itd., ale sama wiedza tu nie wystarcza, potrzebna jest **praktyka**, a wiadomo, że praktyka sprzęgnięta z inteligencją czyni mistrza*.

Z biznesowego punktu widzenia wiedza powinna wspomagać podejmowanie decyzji.

Znana jest piramida epistemologiczna³ (rys.1), z której wynika, że dwa komponenty: informacje i dane stosunkowo łatwo poddają się automatyzacji. Jeśli chodzi o wiedzę, to do pewnego stopnia jest to możliwe.

² Epistemologia – etym. gr. *episteme* – „wiedza; umiejętność, zrozumienie”, *logos* – „nauka; myśl”, dział filozofii zajmujący się relacjami między poznawaniem, poznaniem a rzeczywistością [za Wikipedią].

³ Według założeń modelu Wirth’a są to kolejne poziomy paradygmatu wiedzy w organizacji.



Rys..1. Poziomy paradygmatu wiedzy w organizacji

Wiedza jest pojęciem podstawowym dla różnego rodzaju procesów decyzyjnych i procesów wnioskowania zarówno przez człowieka jak i przez komputer. Próby formalizacji wiedzy można sformułować wychodząc z założenia, że:

Informacja – wszystko to co osłabia niepewność (*C. Shannon*).

Dane – to proste informacje o elementarnych faktach, sądach i wnioskach.

Natomiast **Wiedza** to informacje i relacje między nimi:

$$W \subseteq INF' \times INF'' \times \dots$$

W szczególnym przypadku można przyjąć również, że **wiedza** to sposób przetwarzania (odwzorowania) informacji:

$$W: INF' \rightarrow INF''$$

Na przykład:

Wiedza medyczna': Objawy \rightarrow Diagnoza

Wiedza medyczna'': Diagnoza \rightarrow Kuracja

2 jest liczbą parzystą co oznacza *fakt*.

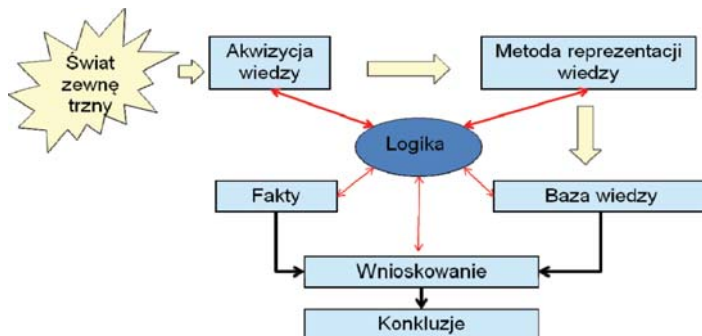
Jeśli x jest liczbą parzystą to $x+2$ jest liczbą parzystą – *wiedza*.

2.2 System oparty na wiedzy

Wiedza jest podstawową kategorią w tzw. systemach opartych na **bazie wiedzy**, gdzie podstawowymi problemami, które należy rozwiązać to:

- pozyskiwanie (akwizycja) wiedzy;
- reprezentacja bazy wiedzy;
- sposób użycia wiedzy;
- objaśnienie i uczenie się.

Tego typu systemy najczęściej nazywamy systemami ekspertowymi. Strukturę funkcjonalną tego typu systemu przedstawia rys.2.



Rys. 2. Struktura funkcjonalna systemu opartego o bazę wiedzy

Źródło: opracowanie własne

Powszechnie stosowane **programowanie proceduralne** można uważać za odbywające się zgodnie z paradygmatem:

PROCEDURA = ALGORYTM + DANE

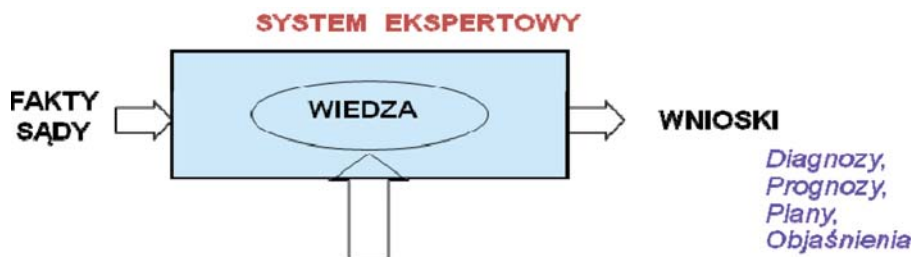
Natomiast programowanie stosujące bazy wiedzy (**systemy ekspertowe**) można uważać za odbywające się zgodnie z paradygmatem:

SYSTEM EKSPERTOWY = SYSTEM WNIOSKUJĄCY + BAZA WIEDZY

Wiedza jest niezbędna, by zapewnić odpowiedni poziom ekspertyzy, a wraz z *procedurami wnioskowania* stanowi „*myślenie*”. Tworzenie systemu opartego na bazie wiedzy wymaga pozyskania (akwizycji) wiedzy eksperta, który często znajduje rozwiązanie na podstawie informacji o problemie oraz na swoim doświadczeniu. Proces konstruowania tego typu systemów należy do zagadnień tzw. inżynierii wiedzy. Natomiast zasadniczym celem inżynierii wiedzy jest pozyskanie wiedzy, jej strukturalizacja oraz przetwarzanie. Główne zastosowanie tego typu systemów, to: diagnostyka, uczenie się, instruktaż, interpretacja, predykcja oraz planowanie.

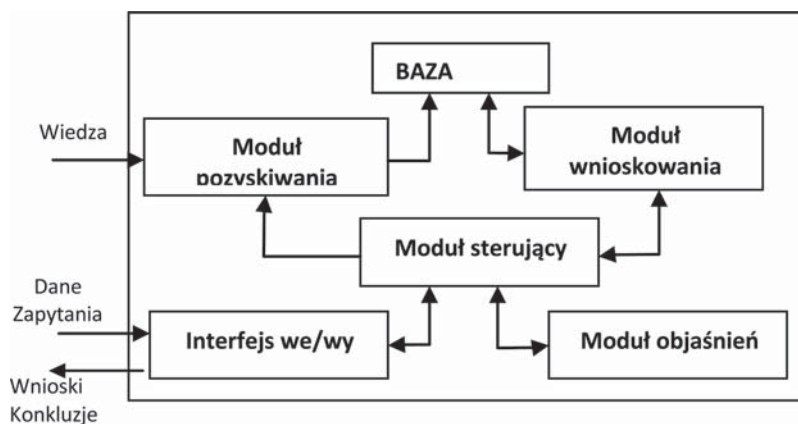
2.3 Koncepcja systemu ekspertowego

System ekspertowy (SE) jest to system informatyczny wykorzystujący procedury wnioskowania do rozwiązywania problemów, które są na tyle trudne, że wymagają znaczącej ekspertyzy specjalistów. System ekspertowy (rys. 3) wykorzystuje zatem wiedzę eksperta do rozwiązywania takich problemów, które wymagają inteligencji człowieka – eksperta na podstawie profesjonalnej ekspertyzy.



Rys. 3. Istota systemu ekspertowego
Źródło: opracowanie własne

Najczęściej przyjmuje się, że system ekspertowy jest to system informatyczny, który ma na celu zastąpienie pracy eksperta w danej dziedzinie.



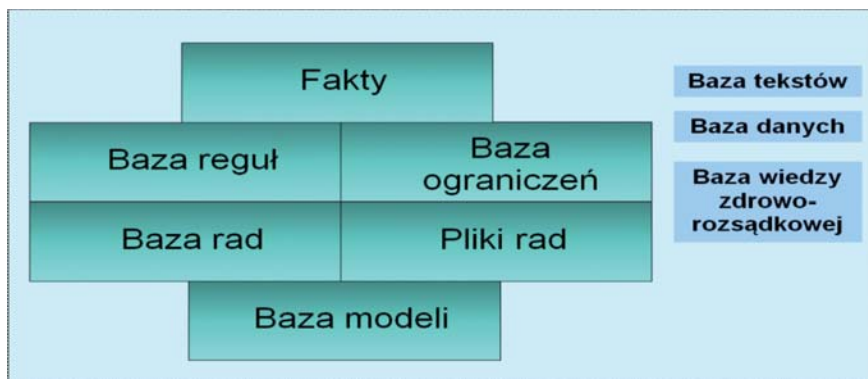
Rys. 4. Struktura typowego systemu ekspertowego
Źródło: opracowanie własne na podstawie Mulawka J. Systemy ekspertowe

Systemy ekspertowe są zorganizowane w ten sposób, że wiedza dotycząca danej dziedziny, zwana bazą wiedzy jest odseparowana od reszty systemu, zawierającej sterowanie wiedzą, do czego stosuje się odpowiednie mechanizmy wnioskowania. Rozważając bardziej szczegółowo strukturę systemów ekspertowych możemy w niej wyróżnić podstawowe elementy przedstawione w postaci schematu pokazanego na rys.4. takie jak:

- Baza wiedzy (np. zbiór reguł i faktów, które są niezbędne do rozwiązywania problemu w danej dziedzinie);
- Moduł pozyskiwania wiedzy – umożliwia akwizycję wiedzy od eksperta lub inżyniera wiedzy;
- Interfejs we/wy – umożliwiają formułowanie zadań przez użytkownika i przekazywanie rozwiązania przez system;

- Moduł sterujący – umożliwi komunikację pomiędzy modułami;
- Moduł objaśnień – objaśnia strategię wnioskowania. Obecnie w SE spotyka się najczęściej trzy rodzaje wyjaśnień:
 - „**jak?**” (ang. *how*) – odpowiadające na pytanie „*w jaki sposób system wyprowadził dany zbiór konkluzji*”; wyjaśnienia mają w tym przypadku charakter retrospektywny i pokazują logiczny wywód systemu;
 - „**dlaczego?**” (ang. *why*) – odpowiadające na pytanie „*dlaczego system zadał użytkownikowi dane pytanie*”; wyjaśnienia tego typu uzasadniają celowość pytania, poprzez pokazanie bieżącego kontekstu wnioskowania oraz tego jak odpowiedź na dane pytanie przyczyni się do rozwiązania problemu;
 - „**co to jest?**” (ang. *what is*) – objaśniające pojęcia zawarte w bazie wiedzy. Wyjaśnienia są tak ważnym i specyficznym elementem technologii systemów ekspertowych

Struktura bazy wiedzy typowego SE, jako główny komponent, posiada strukturę złożoną z wielu typów baz o różnym przeznaczeniu i przedstawiona jest na rys. 5.



Rys. 5. Struktura bazy wiedzy SE

Źródło: opracowanie własne na podstawie Mulawka J., *Systemy ekspertowe*

Fakty – podstawowe cechy i pojęcia wyrażone jako elementarne składniki zdań zapisanych w jakimś języku. Ich zadanie to identyfikacja i rozróżnianie **obiektów i klas**. Fakt może charakteryzować się różnymi wartościami atrybutów (cech) obiektu.

Baza reguł – wiedza dziedzinowa logiczna, która zawiera zbiór zależności pomiędzy obiektami występującymi w danej dziedzinie (związki).

Baza ograniczeń – wiedza dziedzinowa logiczna.

Baza modeli – wiedza dziedzinowa matematyczna. W niej zawarte są modele matematyczne występujące w danej dziedzinie. Możemy wyróżnić typy: deterministyczne, niedeterministyczne, itp.

Baza rad, Pliki rad – wiedza dziedzinowa uzupełniająca i wyjaśniająca.

Baza tekstów – występuje w niej naturalna strukturalizacja informacji, wynikająca np. z przyjęcia porządku alfabetycznego. Przykładem mogą być słowniki, które zawierają wiedzę ogólną z danej dziedziny.

Baza danych – zawiera uporządkowane sprecyzowane, szczegółowe informacje. Typ danych jest często numeryczny lub znakowy, a operacje na niej wykonywane są zdeterminowane (np. dane o obiekcie, wyniki pomiarów, hipotezy).

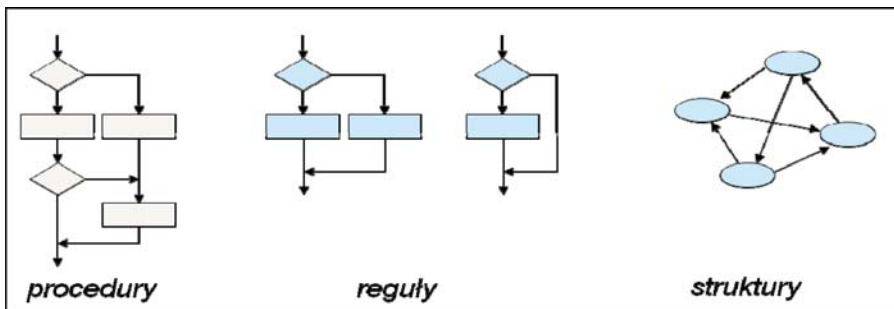
Baza wiedzy zdroworozsądkowej – zbiór potencjalnych, racjonalnych zachowań człowieka, reguł definiujących sposoby podejmowania decyzji.

3 METODY REPREZENTACJI WIEDZY

Reprezentacja wiedzy w dziedzinie sztucznej inteligencji stanowi jeden z podstawowych problemów, który nie został jeszcze w pełni rozwiązany. Przyjmuje się, że wiedza składa się opisów lub raczej faktów, relacji oraz procedur. Opisy stanowią zdania w jakimś języku i służą do identyfikacji, rozróżniania obiektów i klas. Natomiast relacje odzwierciedlają zależności i asocjacje (skojarzenia) pomiędzy faktami.

Przegląd metod reprezentacji wiedzy należałoby rozpocząć od reprezentacji modeli opartych na logice. Logika klasyczna i powstałe później inne logiki stanowią podstawowe narzędzia umożliwiające pewne zautomatyzowanie procesu wnioskowania i pozyskiwania wiedzy, a także jej reprezentację określaną jako symboliczną. Wyróżnia się dwa podstawowe typy symbolicznej reprezentacji wiedzy⁴ (rys 6):

- proceduralna, polegająca na określeniu zbioru procedur, działanie których reprezentuje wiedzę o dziedzinie;
- deklaratywna, polegająca na określeniu zbioru specyficznych dla rozpatrywanej dziedziny faktów, stwierdzeń oraz reguł.



Rys. 6. Podstawowe reprezentacje wiedzy

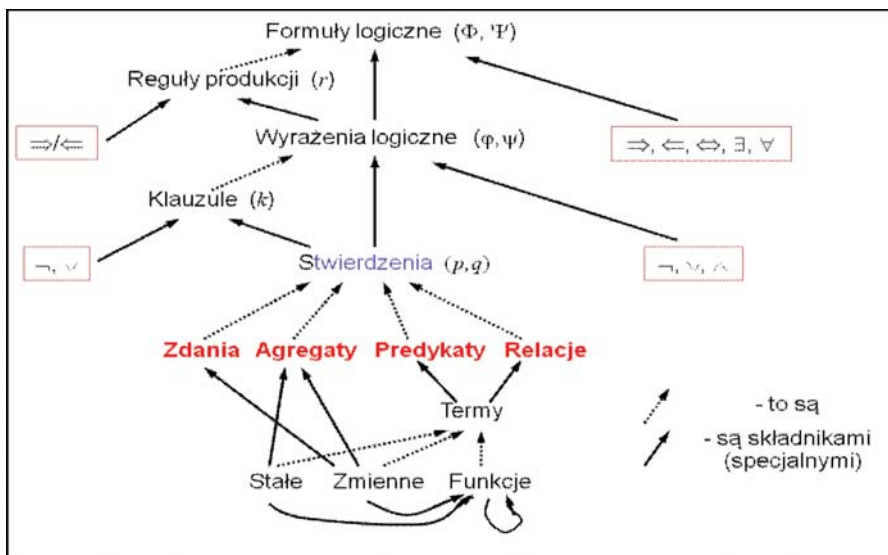
Źródło: Wiesław Traczyk; traczyk@ia.pw.edu.pl

⁴ Mulawka J. Systemy ekspertowe

Zatem wiedza proceduralna mówi „*jak*” rozwiązać problem. Natomiast wiedza deklaratywna mówi „*czym*” rozwiązać problem. Zaletą reprezentacji proceduralnej jest duża efektywność reprezentowania procesów. Reprezentacja deklaratywna jest z kolei łatwiejsza w opisie i formalizacji.

Do najczęściej stosowanych metod reprezentowania wiedzy należy zaliczyć:

- Metody bazujące na zastosowaniu logiki (rys. 7):
 - logika konwencjonalna: rachunek zdań, rachunek predykatów, metoda rezolucji, itp.
 - logika niekonwencjonalna (rozmyta, wielowartościowa),
 - metody wykorzystujące zapis stwierdzeń,
 - metody wykorzystujące systemy regułowe (wektory wiedzy),
- Metody z wykorzystaniem sieci semantycznych,
- Metody oparte na ramach,
- Metody używające modeli obliczeniowych.



Rys. 7. Metody wiedzy oparte na logice

Źródło: Wiesław Traczyk: traczyk@ia.pw.edu.pl

W większości SE wiedza oparta jest na logice dwuwartościowej. Z niej też wywodzą się podstawowe koncepcje mechanizmów wnioskowania. Okazuje się jednak, że baza wiedzy oparta na „czystej logice”, pomimo deklaratywności i nieproceduralności jest trudna do przetwarzania, ponieważ bardzo szybko następuje eksplozja

kombinatoryczna, czyli lawinowy rozrost bazy wiedzy o fakty będące powieleniem już istniejących informacji i powstawaniem niepożądanych struktur.

Ponadto w SE stosowane są również inne techniki organizowania wiedzy takie jak: język naturalny, tablice decyzyjne, drzewka decyzyjne, sieci Bayesa, scenariusze, metody stosowane w projektowaniu systemów informatycznych np. UML, ontologie, zbiory przybliżone, XML, agenty logiczne⁵.

Oprócz szeroko rozpowszechnionych i dobrze poznanych metod symbolicznych, aktualnie wyróżnia się inny nurt badań w tej dziedzinie – reprezentacje niesymboliczne. Metody te odwołują się do obserwacji i doświadczeń na podstawie otaczającego nas świata istot żywych. Tzw. *sieci neuronowe*, symulują właściwości reprezentacji wiedzy i jej przetwarzania podobnie jak komórki nerwowe zwierząt i ludzi. Wiedza zgromadzona jest wówczas w pewnym sposobie połączeń między poszczególnymi neuronami oraz wartościami wag reprezentującymi siłę tych połączeń. Inną technikę reprezentacji wiedzy stanowią tzw. *algorytmy genetyczne*, które umożliwiają przekazywanie następnym generacjom wiedzy o całym gatunku. Wiedza zapisana jest w genach. W kolejnych generacjach następuje poprawa cech całej populacji.

W ostatnim czasie pojawiła się nowa kategoria narzędzi sztucznej inteligencji, czyli systemy hybrydowe. Polegają one na połączeniu tradycyjnych systemów ekspertowych, systemów uczących się, sieci neuronowych oraz algorytmów genetycznych. Systemy hybrydowe cechuje zwiększony potencjał intelektualny, ponieważ korzystają one z pozytywnych właściwości każdego z wymienionych narzędzi, który wynika z różnych sposobów reprezentacji wiedzy.

Poniżej zostaną zaprezentowane wybrane metody reprezentacji wiedzy stosowane najczęściej w tradycyjnych i hybrydowych systemach ekspertowych.

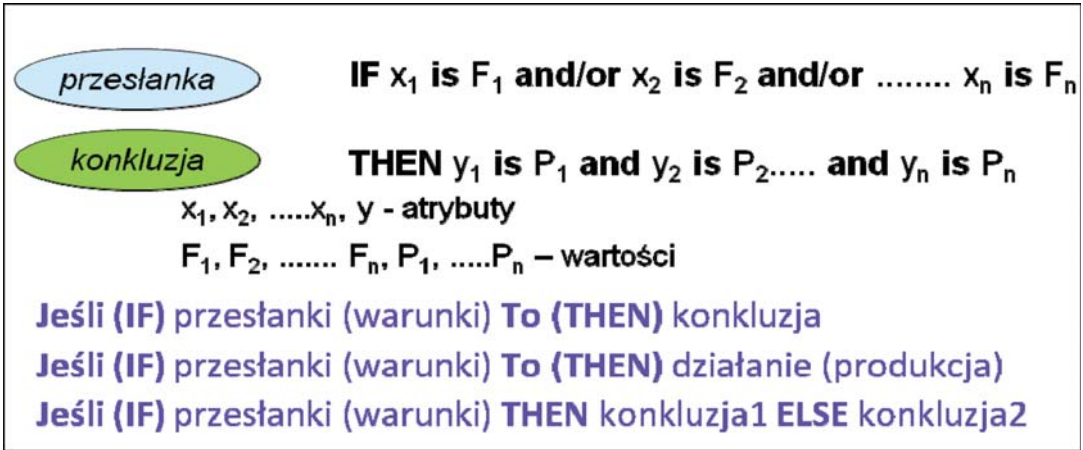
3.1 Regułowa reprezentacja wiedzy

Wśród wielu metod reprezentacji wiedzy istotną rolę w praktycznych zastosowaniach odgrywają metody oparte na regułach, których ogólna postać może być wyrażona jak na rys. 8.

Jeśli (IF) przesłanki (warunki) To (THEN) konkluzja, co oznacza, że jeżeli przesłanka jest prawdziwa, to prawdziwa jest również konkluzja.

Przesłanka może zawierać pewną liczbę stwierdzeń połączonych funktorami logicznymi. Okazuje się, że w tym przypadku nie występuje niekontrolowany rozrost bazy wiedzy o nadmiarowe tautologie.

⁵ Agent zna pewne fakty, podejmując działania zbiera nowe fakty, łączy je i wyciąga wnioski. Ma to szczególne znaczenie dla otoczenia, które nie jest w pełni obserwowalne, gdzie pewne obserwacje trzeba zapamiętać w postaci faktów.



Rys. 8. Postać ogólna regułowej reprezentacji wiedzy

Źródło: opracowanie własne

Baza wiedzy takiej reprezentacji wiedzy zawiera zbiór reguł i faktów. Wydawać się może, że jest to prymitywna metoda. Okazuje się jednak, że jest przeciwnie. Zdecydowana większość SE jest oparta na regułach, co umożliwi również uzyskanie dużej modularności, tworzenie wąsko specjalizowanych baz wiedzy i łączenie w całość.

Reprezentacja regułowa najczęściej jest wykorzystywana w systemach dedukcyjnych, gdzie zbiór faktów początkowych jest przekształcany przy pomocy stosownych reguł w pewien zbiór faktów końcowych. W zależności od przeznaczenia system może spełniać różne funkcje, np. klasyfikowanie, diagnozowanie, dowodzenie, ustalanie przyczyn, najlepszy dobór, planowanie, prognozowanie, monitorowanie itp.

3.2 Sieci semantyczne

Sieci semantyczne (ang. *semantic nets*) są najstarszym i najbardziej ogólnym typem reprezentacji wiedzy. Baza wiedzy stanowi zbiór stwierdzeń i powiązań pomiędzy nimi.

Jest możliwe stworzenie sieci stwierdzeń, w której węzłami będą stwierdzenia, gałęzie zaś reprezentować będą relacje. Mogą im być przypisywane wagi, które określają stopień przekonania o prawdziwości tych stwierdzeń. Sieci semantyczne i asocjacyjne są uogólnieniem sieci stwierdzeń, które polega na przyjęciu założenia, że poszczególne węzły odpowiadają kompletnym opisom pojęć lub obiektów i nie są tylko wyłącznie stwierdzeniami.

Sieć semantyczna jest pewnego rodzaju logiką, gdzie relacje między obiektami są przedstawione w postaci rysunku. Wnioskowanie odpowiada „poruszaniu” się po grafie. Na podstawie inspekcji sieci wyprowadza się różne konkluzje.

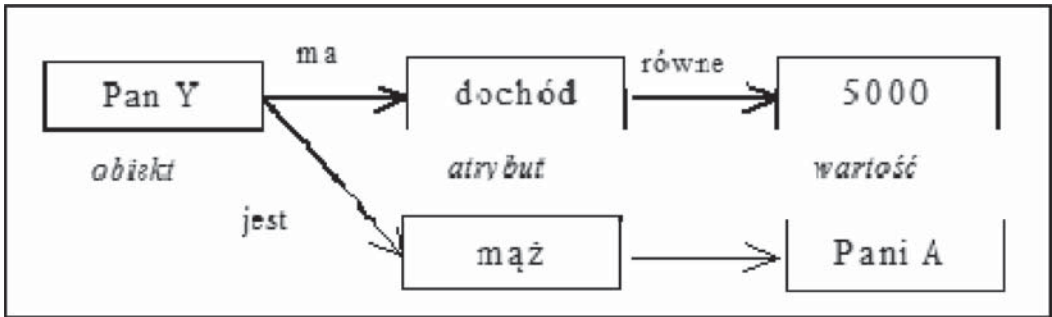
Sieć semantyczna G to graf $G = (V, S, u)$

gdzie:

V – zbiór węzłów,

$S: V \times V$ – zbiór połączeń między węzłami,

$u: S \times L$ – funkcja określająca nazwę (własność) odpowiadającą połączeniu między węzłami (L – zbiór własności reprezentowanych przez sieć).



Rys. 9. Przykładowa sieć semantyczna

Źródło: opracowanie własne

Na rys.9 przedstawiono sieć opisującą Pana Y. Sieć ta tworzy graf skierowany. Między węzłami grafu zachodzą relacje: *jest*, *ma*, *równie*. Na przykład między węzłami Pan Y i mąż zachodzi relacja *jest*.

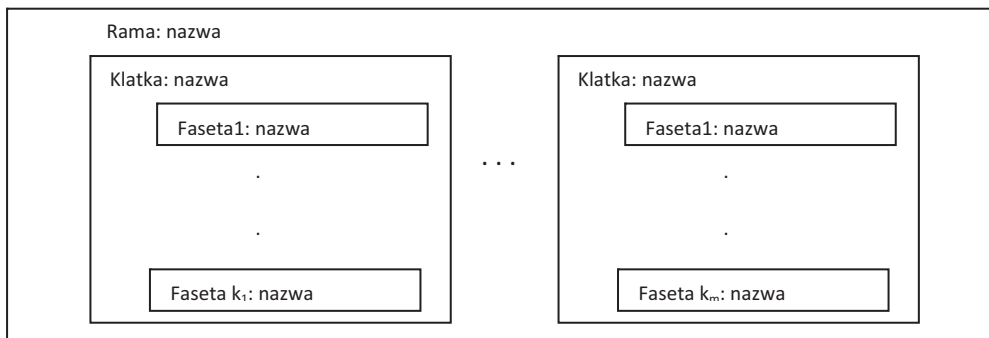
Metoda sieci semantycznych jest najczęściej stosowana do analizy i rozumienia języka naturalnego a także do tłumaczenia z jednego języka na inny. Wynika to z jasności, z jaką przedstawiać można zawile i skomplikowane struktury składniowe języka.

3.3 Ramy

Ramy pozwalają na **deklaratywną i proceduralną** reprezentację wiedzy. Stwarzają możliwość takiej organizacji, w której reguły reprezentujące wiedzę w danej dziedzinie są wyraźnie oddzielone od reguł niezbędnych do prawidłowego działania systemu eksperckiego.

Rama jest pewną strukturą opisującą obiekt, składają się na nią również podstruktury, tzw. klatki (rys. 10), które bywają nazywane także slotami (ang. *slots*).

W klatkach są opisane własności lub cechy obiektów reprezentowanych przez ramę. Klatka dzieli się na mniejsze części nazywane fasetami

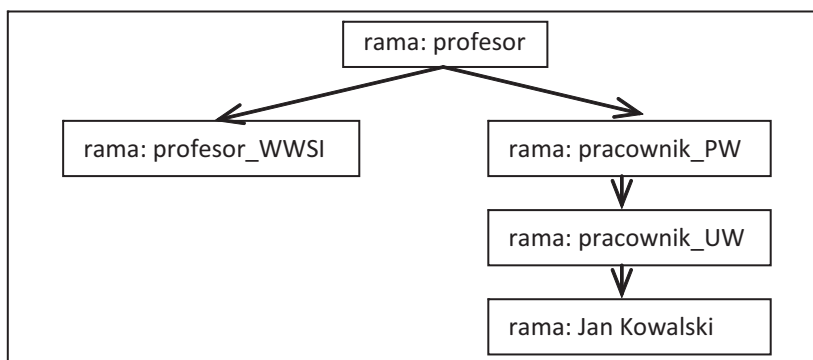


Rys. 10. Ogólny schemat ramy
 Źródło: Mulawka J. Systemy ekspertowe

Ramy mogą być łączone w strukturę hierarchiczną jako graf-drzewo. Wierzchołkami grafu są ramy, a jego gałęzie określają gałęzie podrzędności. Powiązania między ramami również definiują również tzw. hierarchię dziedziczenia.

Jako przykład rozważmy pewien zbiór ram (rys. 11) dla którego hierarchię dziedziczenia określono w ten sposób, że grot strzałki wskazuje ramę podrzędną.

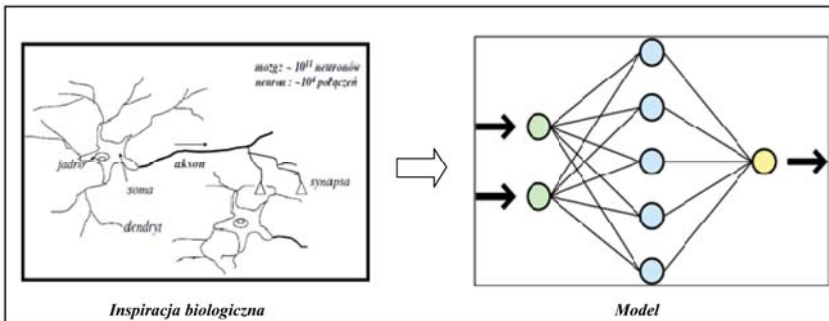
Systemy oparte o ramowej reprezentacji wiedzy potrafią zwiększać zbiór swoich faktów poprzez automatyczne otrzymywanie wniosków jako fragmentów stwierdzeń poprzez operację wyszukiwania. Ramy mogą być również wykorzystane do reprezentowania reguł wnioskowania.



Rys. 11. Przykładowa struktura hierarchiczna ram
 Źródło: Mulawka J. Systemy ekspertowe

3.4 Sztuczne sieci neuronowe

Sztuczne sieci neuronowe, nazywane bardzo często po prostu sieciami neuronowymi, są najogólniej rzecz ujmując, powierzchowną imitacją biologicznego systemu nerwowego, a zwłaszcza mózgu. Ich istotą jest naśladowanie zarówno budowy jak i działania żywego pierwowzoru.

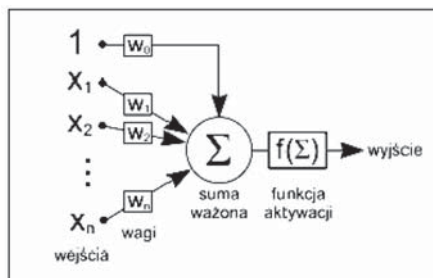


Rys. 12 Ogólna idea sieci neuronowej.

Źródło: opracowanie własne

W mózgu, ogromna liczba połączeń neuronów (rys. 12), (tzn. liczba wejść i warstw) stanowi istotę reprezentacji wiedzy. W modelu (rys.12), neuron jako pojedynczy procesor, obliczający ważoną sumę danych wejściowych, pochodzących od innych procesorów, daje na wyjściu jedną liczbę, która jest nieliniową funkcją tej sumy ważonej i jest dalej przekazywana do innych procesorów, wykonujących podobne obliczenia, używając własnych funkcji i wag dla danych wejściowych. W ten sposób tworzy się sieć neuronów.

Wiedza na temat biologicznego neuronu przyczyniła się do stworzenia jego modelu matematycznego. Modelując komórkę nerwową (rys. 13) ze względu na pełnione przez nią funkcje informacyjne, przedstawiamy ją jako element (procesor) o wielu wejściach i jednym wyjściu.



Rys. 13. Jednowarstwowy model komórki

Źródło: opracowanie własne

Cechą charakteryzującą wszystkie rodzaje sieci jest możliwość modelowania zjawisk oraz procesów słabo ustrukturalizowanych i zalgorytmizowanych. Systemy neuronowe dają możliwość zbudowania efektywnie działającego modelu bez określania natury związków między zmiennymi, które z powodu nadmiernej złożoności lub niejasności nie mogą być opisane w postaci równań matematycznych.

3.5 Algorytmy genetyczne

Inspiracją do podjęcia badań dotyczących algorytmów ewolucyjnych (nazywanych również genetycznymi) było *naśladowanie natury* w zakresie zjawisk znanych z genetyki np. przekazywanie korzystnych cech potomstwu poprzez krzyżowanie i mutacje.

„Ewolucja jako *mistrzowski programista* okazała się płodna, projektując miliony gatunków o zapierającej dech w piersiach różnorodności. Wszystkie te programy już zostały napisane, nagrane w strukturze chemicznej genialnej cząsteczki nazwanej DNA”⁶.

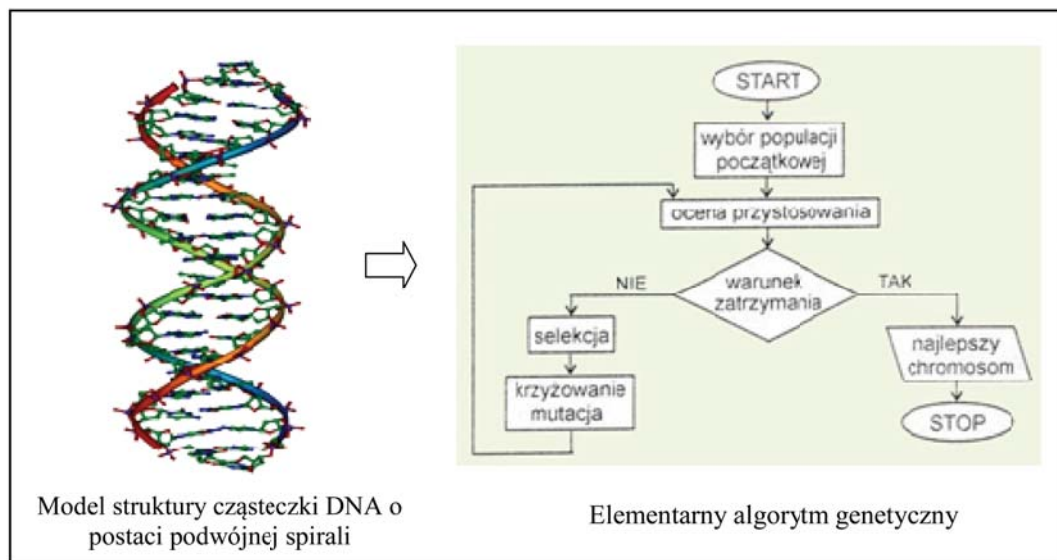
Algorytmy genetyczne są jeszcze w fazie rozwoju, dlatego też trudno jest ocenić poszczególne pomysły składające się na tę dziedzinę.

Jest wiele sposobów patrzenia na algorytmy genetyczne. Jedni widzą w nich metody sztucznej inteligencji, inni modele ewolucji i genetyki typu „sztuczne życie”, a jeszcze inni traktują, jako próbę rozwiązania zagadnień optymalizacji.

Istotą algorytmów genetycznych jest poszukiwanie oparte na mechanizmach doboru naturalnego oraz dziedziczności. Łącząc w sobie ewolucyjną zasadę „przeżycia” najlepiej przystosowanych z systematyczną choć zrandomizowaną wymianą informacji, tworzą metodę poszukiwania obdarzoną jakąś dozą pomysłowości właściwej umysłowi ludzkiemu. W każdym pokoleniu powstaje nowy zespół sztucznych organizmów (jako ciągów bitowych), utworzonych z połączenia fragmentów najlepiej przystosowanych przedstawicieli poprzedniego pokolenia. Pomimo elementu losowości, algorytmy genetyczne nie sprowadzają się do zwykłego błędzenia przypadkowego. Wykorzystują one efektywnie przeszłe doświadczenie do określenia nowego obszaru poszukiwań.

Algorytm ewolucyjny (rys. 14) przeszukuje przestrzeń alternatywnych rozwiązań problemu w celu odnalezienia rozwiązań najlepszych lub potencjalnie najlepszych. Zalicza się go do klasy algorytmów heurystycznych. Przeszukiwanie odbywa się za pomocą mechanizmów ewolucji oraz doboru naturalnego.

⁶ R. Kurzweil, wynalazca i informatyk-futurysta [6]



Rys. 14. Istota algorytmu genetycznego
 Źródło: opracowanie własne

Algorytmy ewolucyjne znalazły zastosowanie praktyczne w wielu różnych dziedzinach, na przykład w oprogramowaniu typu CAD, w badaniach operacyjnych (harmonogramowanie zadań, planowanie transportu), we wspomaganiu nawigacji, w planowaniu tras robotów, w narzędziach wspomagania decyzji ekonomicznych, sztucznej inteligencji i maszynowym uczeniu (poszukiwanie optymalnych reguł klasyfikacji) oraz symulacjach z dziedziny sztucznego życia.

Niezależnie od przyjętej metody reprezentacji wiedzy w systemach ekspertowych, każda z nich powinna spełniać następujące wymagania:

- posiadać zdolność reprezentacji – czyli zdolność do reprezentowania wiedzy wszystkich typów wymaganych w danej dziedzinie;
- umożliwiać proces wnioskowania – czyli zdolność manipulowania strukturami reprezentacji w taki sposób, aby tworzyć nowe struktury, odpowiadające nowej wiedzy wyprowadzonej z dotychczasowej;
- zapewniać efektywność wnioskowania – czyli zdolność wbudowywania dodatkowej informacji do struktury wiedzy tak, aby skoncentrować uwagę mechanizmu wnioskującego na najbardziej obiecujących kierunkach;
- zapewniać możliwość pozyskiwania wiedzy – czyli posiadać zdolność łatwego pozyskiwania nowych informacji (docelowo: sterowanie procesem pozyskiwania wiedzy).

3.6 Pozyskiwanie wiedzy w systemach ekspertowych

Pozyskiwanie wiedzy (ang. *knowledge acquisition*) lub przyswajanie wiedzy w ścisły sposób jest związane z zagadnieniami uczenia się. Przez pozyskiwanie wiedzy rozumie się pozyskiwanie informacji symbolicznej połączone z nabyciem umiejętności efektywnego wykorzystania wiedzy. Do zadań systemów uczących się należy zaliczyć: formułowanie nowych pojęć, wykrywanie nieznanych dotąd prawidłowości w danych, tworzenie reguł decyzyjnych, przyswajanie nowych pojęć i struktur metodą uogólniania przykładów i analogii, modyfikowanie, uogólnianie i precyzowanie danych, zdobywanie wiedzy metodą konwersacji z ludźmi, uogólnienie obserwacji dokonanych sztucznymi zmysłami (np. czujnikami) i generowanie wiedzy zrozumiałej dla człowieka.

Podstawową tendencją w pracy przy systemach uczących się jest nadanie im zdolności samodzielnego wnioskowania na wzór ludzkiego, z jednoczesną eliminacją błędów, jakie popełnia człowiek. Systemy uczące się, w przeciwieństwie do tradycyjnych, wykorzystują informację w sposób twórczy.

Do podstawowych metod pozyskiwania wiedzy można zaliczyć:

- Metody manualne: wywiad, analiza protokołów, analizowanie problemu, kwestionariusze, obserwacja eksperta w miejscu pracy, „burza mózgów”, wykorzystanie symulacji komputerowej;
- Metody półautomatyczne: bezpośrednie zapisywanie wiedzy, pozyskiwanie wiedzy na podstawie: instrukcji, analogii, przykładów, obserwacji;
- Metody automatyczne: uczenie indukcyjne oraz uczenie dedukcyjne.

Ze względu na jakość i stopień kompresji informacji przekazywanej do systemu uczącego się wyróżnia się następujące strategie uczenia się systemu:

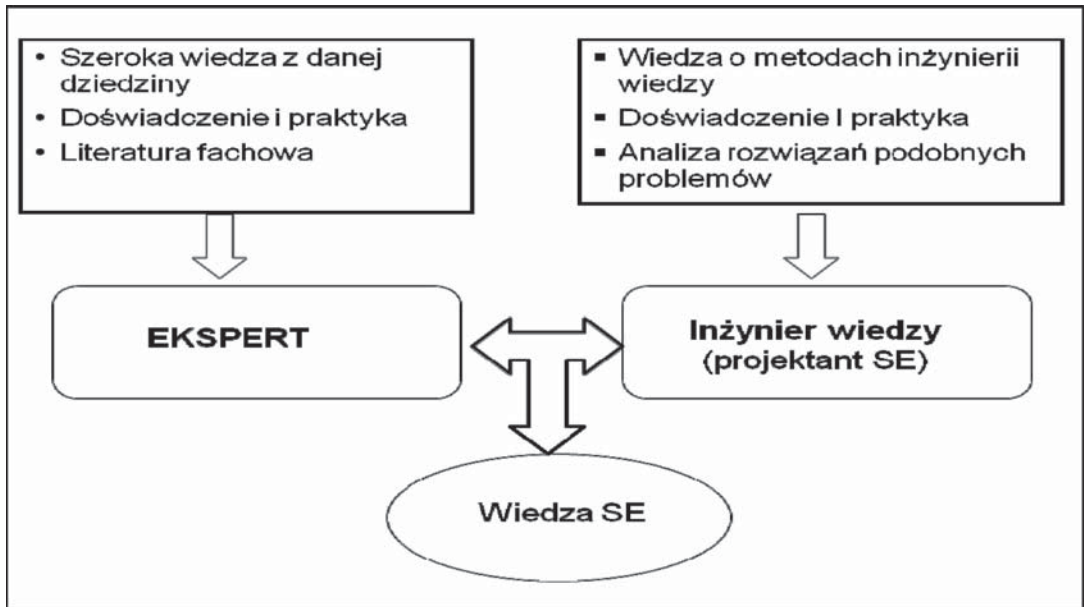
- **bezpośrednie zapisanie wiedzy** – czyli tzw. uczenie się na pamięć. Nie wymaga się od systemu żadnego przekształcania wiedzy, tylko proste zapisanie wiedzy.
- **na podstawie instrukcji** – nauczyciel przekazuje do systemu wiedzę narzucając jej odpowiednią strukturę tak, aby mogła być ona dołączona do istniejącej już wiedzy. System musi odpowiednio uzupełnić i usystematyzować swoją wiedzę.
- **na podstawie analogii** – system tak przekształca istniejącą wiedzę, aby mogła być ona użyteczna do opisów faktów podobnych do tych, które już się znajdują w bazie wiedzy.
- **na podstawie przykładów** – system sam konstruuje bazę wiedzy na podstawie zbioru przykładów i kontrprzykładów. Przykłady mogą być pozyskiwane

wprost od eksperta, wygenerowane przez program symulacyjny lub na podstawie dostępnych publikacji.

- **na podstawie obserwacji** – stosowany jest w technikach rozpoznawania obrazu. System uczy się i klasyfikuje różnorodne obserwacje pochodzące od otoczenia. Czasem może wpływać na zmiany w otoczeniu i obserwować skutki tych zmian.

Pozyskiwanie wiedzy na podstawie analogii polega na takiej transformacji istniejącej wiedzy, aby mogła być ona użyteczna do opisu faktów podobnych do tych, które już wcześniej zostały zawarte w bazie wiedzy. Naśladuje sposób rozwiązywania problemów przez człowieka zwany wnioskowaniem metodą analogii (ang. *Case-Based Reasoning*).

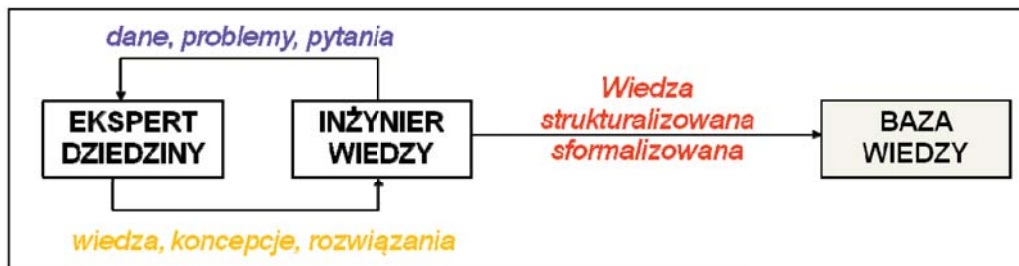
Natomiast technologia pozyskiwania wiedzy przez system ekspertowy przedstawiona jest na rys. 15 oraz rys 16.



Rys. 15. Mechanizm akwizycji wiedzy w SE

Źródło: opracowanie własne na podstawie Mulawka J. Systemy ekspertowe

Wiedza z danej dziedziny w postaci strukturalizowanej i sformalizowanej może być wprowadzana do bazy wiedzy SE różnymi sposobami na przykład poprzez inżyniera wiedzy. Jedną z metod pozyskiwania wiedzy jest prowadzenie dialogu ekspertem co ilustruje rys 16.

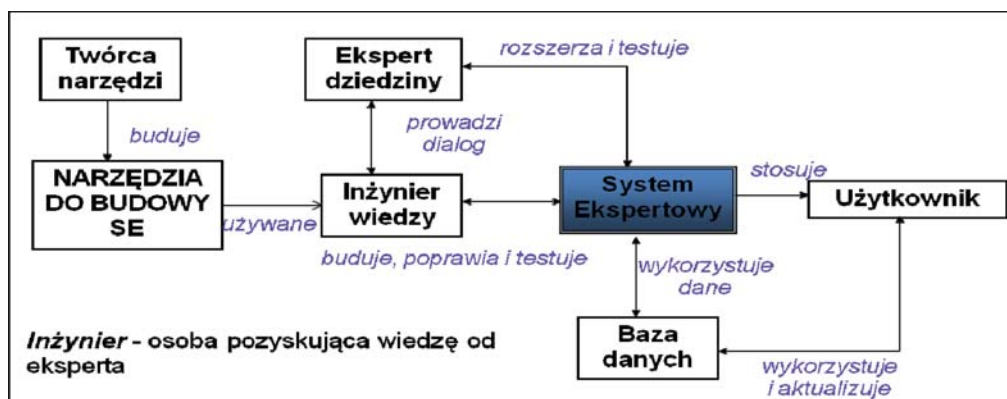


Rys. 16. Typowy proces pozyskiwania wiedzy
 Źródło: Mulawka J. Systemy ekspertowe

Inżynier wiedzy, tak jak każdy inżynier, operując wiedzą pozyskaną od eksperta oraz z innych źródeł i posługując się odpowiednimi narzędziami, musi nadać wiedzy odpowiednią formę, a także buduje nowe wartości. Przykładowy zestaw pytań zadawanych ekspertowi przez inżyniera wiedzy:

- czym różni się omawiany problem od prototypowych problemów danej dziedziny?
- jakich rodzajów danych wymaga problem?
- jakie typy rozwiązań są adekwatne dla problemu?
- czy problem może być zdekomponowany na nieoddziaływujące na siebie podproblemy?
- jakie dziedziny wiedzy są potrzebne do rozwiązania problemu?
- w jaki sposób odbywa się wyjaśnianie rozwiązania problemu?

Systemy ekspertowe mogą być budowane różnymi narzędziami. Prowadzi to do specjalizacji twórców systemu ekspertowego zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 17.



Rys. 17. Role twórców systemu ekspertowego
 Źródło: Mulawka J. Systemy ekspertowe

W poniższej tabeli dokonano porównania konwencjonalnego przetwarzania danych z inżynierią wiedzy.

Tab. 1. Porównanie konwencjonalnego przetwarzania z inżynierią wiedzy

Konwencjonalne przetwarzanie danych	Inżynieria wiedzy
Programista, analityk systemów	Inżynier wiedzy
Program, System	System Ekspertowy
Baza danych	Baza wiedzy
Reprezentacja i użycie danych	Reprezentacja i użycie wiedzy
Algorytmy	Heurystyki
Efektywna manipulacja dużymi bazami danych	Efektywna manipulacja dużymi bazami wiedzy

Źródło: Mulawka J. Systemy ekspertowe

Czym w swojej istocie różni się system ekspertowy od klasycznego systemu informatycznego przedstawia rys.18.



Rys. 18. Cechy odróżniające system ekspertowy od konwencjonalnego systemu

Źródło: opracowanie własne na podstawie Mulawka J. Systemy ekspertowe

Trudności pozyskania wiedzy od eksperta najczęściej wynikają z następujących powodów:

- brak ekspertów dziedzinowych;
- niesatysfakcjonujący poziom wiedzy eksperta;
- ekspert nie wyraża zgody lub nie okazuje chęci do współpracy;
- ekspert nie potrafi wyartykułować swojej wiedzy, doświadczenia.

Przedstawione do tej pory metody reprezentacji wiedzy zakładały pewność i zupełność informacji przechowywanych w bazach wiedzy. Niestety w warunkach rzeczywistych często trudno jest arbitralnie stwierdzić, że dana konkluzja jest pewna w stu procentach czy też określić, że dany fakt na pewno miał miejsce. Prowadzi to do konieczności uwzględnienia w metodach reprezentacji wiedzy pewnego sposobu określania stopnia pewności informacji. Do podstawowych przyczyn niepewności wiedzy można zaliczyć:

- niewiarygodne źródła informacji;
- zbyt wiele informacji nie mającej znaczenia;
- brak precyzji w obserwacjach i opisie;
- błędy aparatury;
- brak zrozumienia sytuacji;
- sprzeczne informacje;
- nieznanne czynniki wpływające na sytuację;
- zmiana sytuacji w czasie, starzenie się wiedzy;
- znaczące koszty pozyskiwania nowych informacji.

Osobnym zagadnieniem jest problematyka przetwarzania wiedzy niepełnej, co nie jest jednak tematem niniejszego artykułu.

4 ZAKOŃCZENIE

Celem artykułu było zaprezentowanie koncepcji budowy systemu ekspertowego ze szczególnym uwzględnieniem pozyskiwania oraz reprezentacji wiedzy. Poprawność i efektywność każdego systemu ekspertowego zależy w dużym stopniu od jakości jego bazy wiedzy. Prawda jest taka, że reprezentacja i pozyskiwanie wiedzy jest jednym z najtrudniejszych zagadnień w dziedzinie systemów ekspertowych, co stanowi wąskie gardło w ich rozwoju. W złożonych systemach ekspertowych wykorzystanie tzw. schematów pozyskiwania wiedzy jest niezbędne i stanowi element krytyczny przy konstrukcji bazy wiedzy.

Złożoność problemu i czas potrzebny do tworzenia bazy wiedzy potęgują się wraz ze wzrostem bazy. Dodatkowo wymagane jest opracowanie nie tylko metod pozyskiwania wiedzy zmniejszających czas tworzenia systemu, ale także metod umożliwiających weryfikację bazy wiedzy pod kątem niesprzeczności, zupełności i eliminacji nadmiarowości.

Pierwsze systemy ekspertowe wykorzystywały wyłącznie reprezentację regułową. Nowsze systemy wykorzystują ramy, sieci neuronowe oraz inne metody reprezentacji wiedzy. Większość projektantów nadal jednak woli używać nieco przestarzałych już reguł z tego względu, że są one najłatwiejsze do opanowania. Pozostałe

metody, choć skuteczniejsze, wymagają większego nakładu pracy w ich poznanie i zastosowanie.

W ostatnim czasie pojawiła się nowa kategoria narzędzi sztucznej inteligencji, czyli tzw. systemy hybrydowe. Polegają one na połączeniu tradycyjnych systemów ekspertowych, systemów uczących się, sieci neuronowych oraz algorytmów genetycznych. Systemy hybrydowe cechuje zwiększony potencjał intelektualny, ponieważ korzystają one z pozytywnych właściwości każdego z wymienionych narzędzi, który wynika z różnych sposobów reprezentacji wiedzy.

Literatura

1. Mulawka J.J.: Systemy ekspertowe. WNT Warszawa 1996.
2. W. Traczyk (red): „Problemy sztucznej inteligencji”, WiŻ, 1995
3. Niederliński A.: „Regułowo-modelowe systemy ekspertowe”, Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, 2006
4. Huzar J.: „Elementy logiki dla informatyków”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2002
5. Bolc L., Zaremba J.: Wprowadzenie do uczenia się maszyn. Akademicka Oficyna Wydawnicza RM, Warszawa 1992.
6. Kurzweil R.: The Age of Spiritual Machines; When Computers Exceed Human Intelligence. Penguin Putnam Inc., New York 1999.
7. Chromiec J., Strzemieczna E.: Metody konstrukcji i analizy systemów eksperckich. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ Warszawa 1995.
8. Michalewicz Z.: Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne, WNT, Warszawa 1996.
9. Zbroja S., Ligęza A.: „Wnioskowanie w oparciu o analogię w bazach danych i bazach wiedzy- wybrane problemy formalnej reprezentacji przypadków” [w:] Bubnicki Z., Grzech A. (red.) Inżynieria wiedzy i systemy ekspertowe Wrocław 2006.
10. Michalik K.: Szkieletowy system ekspertowy PC-Shell. Podręcznik inżyniera wiedzy. Katowice 1999.