

Kazimierz Wieczorkowski
Wyższa Szkoła Informatyki w Łodzi,
Wydział Zamiejscowy we Włocławku, ul. Chmielna 24
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu
Instytut Pedagogiki, Zakład Technologii Kształcenia,
ul. Asnyka 2 a, 87-100 Toruń
email: wiecz@hum.uni.torun.pl

SYSTEMY EKSPERTOWE W EDUKACJI

Streszczenie – W komputerowych systemach wspomaganie nauczania i systemach zarządzania procesami edukacji mamy do czynienia z takimi problemami jak diagnoza, ocena, doradztwo, interpretacja faktów, rozpoznawanie, itp. Praca prezentuje wybrane problemy budowy i eksploatacji systemów ekspertowych w obszarze edukacji. Rosnąca złożoność rozwiązywanych problemów wymaga stosowania coraz bardziej inteligentnych systemów informatycznych. Celem pracy jest analiza możliwości wykorzystania systemów ekspertowych w edukacji. Zwykle systemy informatyczne (tzw. dziedzinowe) nie zadowolają już ani zarządzających przedsiębiorstwami, ani pracowników naukowych i nauczycieli. Tematyka projektowania systemów ekspertowych jest coraz bardziej doceniana zarówno przez użytkowników, jak i przez informatyków. Stały się one zarówno przedmiotem nauczania na kierunkach informatyki, przedmiotem badań naukowych, tematem konferencji naukowych i elementem praktyki projektanckiej. Pewne aspekty budowy i eksploatacji systemów ekspertowych rozważane są również przez specjalistów z zakresu językoznawstwa, psychologii, pedagogiki, filozofii, matematyki, automatyki i in.

1 Wstęp

Współczesne komputerowe systemy wspomaganie nauczania zawierają elementy interpretacji, diagnozy, oceny i często same są systemami uczącymi się. Są one uznawane za systemy inteligentne, a te są traktowane jako najbardziej użyteczne realizacje zastosowań sztucznej inteligencji. Inteligencję określaną w psychologii jako zespół zdolności umysłowych umożliwiających jednostce sprawne korzystanie z nabytej wiedzy oraz skuteczne zachowanie się wobec nowych zadań i sytuacji specjaliści traktują jako zdolność uczenia się i rozwiązywania zadań. Miarą inteligencji jest stopień trudności przyswajanego materiału. Umiejętność rozwiązywania zadań jest z kolei wyrazem posiadania szeregu zdolności elementarnych takich jak: rozumienie, wnioskowanie, myślenie abstrak-

cyjne, odkrywanie i wykrywanie oraz kojarzenie [2, 8]. Należy przy tym podkreślić, że człowiek nie posługuje się tylko słowami, ale także pojęciami, skojarzeniami i abstrakcjami. Człowiek z reguły rozumie to, co robi i o czym myśli [13]. D. Hawkins analizuje sposoby myślenia i rozumowania eksperta-człowieka pod kątem wykorzystania jego wiedzy w budowanych systemach ekspertowych. Na sposób myślenia człowieka mają wpływ stany emocjonalne, które człowiek przeżywa. Pojęcie sztucznej inteligencji stosowane w informatyce oznacza rozwiązywanie problemów sposobami wzorowanymi na działaniach i procesach poznawczych człowieka za pomocą symulujących je programów komputerowych.

Systemy ekspertowe w edukacji mają często charakter systemów doradczych, a jako takie mogą pełnić rolę konsultanta i nauczyciela. Wiele zastosowań ma charakter systemów diagnozujących [14]. Informatyczne systemy inteligentne potrafią zdobywać wiedzę bezpośrednio wprowadzaną przez projektanta albo pośrednio (na podstawie rozkazów, przykładów, obserwacji lub przez wykorzystanie analogii) i korzystać z tej wiedzy w ramach wnioskowania [5]. „Mimo znacznego postępu i przeprowadzenia wielu badań w zakresie sztucznej inteligencji, termin ten definiowany jest niejednolicie. Definicje uwypuklają różne aspekty badań w tej dziedzinie [18]. Według Marvinina Minsky’ego sztuczna inteligencja jest nauką o maszynach realizujących zadania, które wymagają inteligencji wówczas, gdy są wykonywane przez człowieka. Feigenbaum uważa natomiast, że sztuczna inteligencja stanowi dziedzinę informatyki dotyczącą metod i technik wnioskowania symbolicznego przez komputer oraz symbolicznej reprezentacji wiedzy stosowanej podczas takiego wnioskowania. W obrębie sztucznej inteligencji tworzy się programy, które raczej naśladują procesy myślowe zachodzące u człowieka [17]. Programy te znajdują takie zastosowania praktyczne, które dziś trudno przewidzieć. Pojęcie sztucznej inteligencji zawiera w istocie większość definiujących cech tzw. technologii komputerowej.” [18, s. 17].

Cechą charakterystyczną systemów inteligentnych jest ich zdolność do przyswajania nowej wiedzy. Inteligentny program komputerowy winien programem być użytecznym, samoadaptującym się, przystosowanym do zmian, modyfikacji i rozwoju. Elastyczność inteligentnych systemów rozumiana jest jako zdolność do akceptacji danych (nie tylko logicznych), ale także posiadającą umiejętność uczenia się [15]. Podobnie jak umiejętność uczenia się, istotną cechą systemów inteligentnych w edukacji jest zdolność systemu do samodzielnego formułowania własnych sugestii, wzorców zachowań i reguł postępowania, które bezpośrednio nie wynikają z dostępnych materiałów faktograficznych, a są wynikiem wnioskowania systemu po zanalizowaniu zbioru danych, podjętych decyzji i wzorców zachowań. Na podstawie dostępnej wiedzy, podjętych decyzji, przeprowadzonych transakcji i wzorców zachowań

systemy wykorzystujące sztuczną inteligencję są w stanie ocenić trafność podjętych decyzji oraz być użyteczne przy budowie modelu problemu. Dzięki takim właściwościom programy inteligentne mogą skutecznie analizować słabo lub źle zdefiniowane sytuacje decyzyjne. Szczególnie, gdy zbiór dostępnych danych jest niekompletny, zawiera oprócz danych ilościowych również dane jakościowe, a także gdy przydatność niektórych informacji jest wątpliwa, systemy takie wydają się najodpowiedniejszymi systemami umożliwiającymi, jeśli nie całościowe rozwiązanie problemów, to znaczne ich uproszczenie i podjęcie decyzji dającej konstruktywne rozwiązanie problemu. Kluczowymi zagadnieniami rozwiązywanymi za pomocą metod sztucznej inteligencji są: rozwiązywanie problemów, procesy myślenia i strategie poszukiwań, rozumowanie logiczne, przetwarzanie tekstów w języku naturalnym [7] (w tym przetwarzanie mowy [3]), automatyczne dowodzenie twierdzeń i uczenie się maszyn [8], programowanie automatyczne, systemy ekspertowe [5, 12], procesy percepcji (widzenie, słyszenie, dotyk - w tym komputerowe widzenie: analiza i rekonstrukcja obrazu) [19], systemy operacyjne i języki programowania dla potrzeb sztucznej inteligencji, inteligentne wspomaganie decyzji: diagnozy medyczne, decyzje menedżerskie, sterowanie procesami i kontrola, np.: jakości produktów, gry strategiczne - uczenie się na błędach, planowanie, optymalizacja działań i tworzenie teorii, optymalne spełnianie ograniczeń, optymalizacja wielokryterialna, prognozowanie: wskaźników ekonomicznych, upodobań, decyzji zakupu, pozyskiwanie danych, łączenie informacji z wielu baz danych, selekcja cech, redukcja wymiarowości problemu, wyszukiwanie informacji w bazach danych, wyszukiwanie inteligentne (semantyczne) - w inteligentnych bazach danych, robotyka. Stopniowo wzrasta dojrzałość stosowanych metod sztucznej inteligencji, ich dostępność i ilość praktycznych zastosowań. Pojedyncze systemy informatyczne, systemy kompleksowe i zintegrowane wyposażane są w wyspecjalizowane podsystemy inteligentne wykorzystujące metody sztucznej inteligencji. Szczególnie interesującymi zastosowaniami sztucznej inteligencji są systemy ekonomiczne i finansowe (duża różnorodność i złożoność występujących w tej dziedzinie problemów trudnych do rozwiązania za pomocą metod klasycznych). Obszar takich zastosowań sztucznej inteligencji obejmują *systemy ekspertowe (SE)*, realizujące zadania wymagające rozwiązania złożonych problemów i dające się opisać za pomocą reguł wnioskowania.

2 Podstawy teoretyczne – teoria zbiorów rozmytych

Teoria zbiorów rozmytych została sformułowana przez Lofti Zadeha z Uniwersytetu w Teheranie w połowie lat sześćdziesiątych. Przesłanki do powstania tej teorii wynikały z potrzeby opisanego zjawisk lub słabo zdefi-

niowanych pojęć, które są trudne do opisanego przy pomocy logiki tradycyjnej. Teoria przydatna jest w systemach, w których człowiek podejmuje szereg decyzji, np. w medycynie, socjologii, ekonomii, niektórych dziedzinach techniki, psychologii, w edukacji itp. Sposób interpretowania i określania pewnych wielkości jest tu często przybliżony, a zastosowanie ilościowych technik nie daje pełnych efektów przy opisie złożonych systemów wielowymiarowych, hierarchicznych, z wewnętrznymi sprzężeniami zwrotnymi. Zbiory rozmyte są definiowane jako klasa z nieostryimi granicami, zaś logikę rozmytą jako logikę przybliżonego rozumowania. Teoria zbiorów rozmytych opiera się na założeniu, że rozumowanie człowieka jest rzadko ściśle sprecyzowane od strony matematycznej. W klasycznej teorii Boole'a każdy element zbioru ma przypisaną konkretną wartość logiczną (należy albo nie należy do zbioru). Każdy element może przyjąć jedną z dwóch wartości logicznych [0,1], tzn. element może być prawdziwy lub fałszywy. Teoria zbiorów rozmytych dopuszcza nieprecyzyjne określenie przynależności do zbioru. Stosowana jest logika wielowartościowa. Przynależność, z wykorzystaniem wartości logicznych, można określić jako wartości z przedziału $\langle 0,1 \rangle$. Dopuszcza się posługiwanie się zmiennymi lingwistycznymi, czyli określeniami typu: „około”, „na przełomie”, „na pograniczu”, „trochę więcej”, „trochę mniej”. [6, 7].

3 Definicja i opis systemu ekspertowego

Systemy ekspertowe (SE) określane są jako programy informatyczne, których głównym (podstawowym) zadaniem jest naśladowanie człowieka - eksperta w określonej, z reguły wąskiej dziedzinie wiedzy. Określenie takie może być zastosowane do dowolnego programu komputerowego, który na podstawie szczegółowej wiedzy z danej dziedziny może wyciągać wnioski i podejmować decyzje w sposób zbliżony do sposobu rozumowania i działania człowieka [5, 14]. W wielu sytuacjach, szczególnie w trudnych warunkach, np. na pokładzie statków kosmicznych, przy sterowaniu skomplikowanymi maszynami i urządzeniami człowiek nie może sterować wszystkimi urządzeniami jednocześnie oraz w trakcie sterowania podejmować wielu, często kontrowersyjnych decyzji. Są zatem potrzebne systemy, które potrafią pracować w czasie rzeczywistym, wykonując pracę sprawniej niż człowiek. Systemy takie wykorzystują wiedzę z danej dziedziny przechowywaną w bazie wiedzy oraz różne, często skomplikowane procedury wnioskowania. Efektem pracy tych systemów są wykonywane przez bardzo skomplikowane mechanizmy czynności w sposób, który nie nastrocza trudności użytkownikowi z ich obsługą. Systemy ekspertowe posiadają następujące właściwości:

zdolność rozumowania przy wykorzystaniu przetwarzania symboli,
łatwość modyfikowania wiedzy zawartej w systemie,

zdolność wyjaśniania własnych konkluzji w sposób zrozumiały dla użytkownika.

Pierwsze prace w dziedzinie *systemów ekspertowych* sięgają połowy lat sześćdziesiątych. Prekursorami tworzenia *systemów ekspertowych* byli: J. Lederberg, E. Feigenbaum i B. Buchman [16]. Stworzyli oni system Dendral stosowany w dziedzinie chemii. Sukces tego systemu, a także zrozumienie, jaką rolę pełni wiedza w rozwiązywaniu wszelakich problemów doprowadziły do szybkiego rozwoju badań nad *systemami ekspertowymi* i powstania kilku innych znaczących systemów jak: Mycin, Internist, Prospector, XCON, Molgen, Casnet i innych [16]. Opracowano także techniki umożliwiające kodowanie ludzkiej wiedzy w postaci modułów, które za pomocą odpowiednich wzorców mogły być uaktywniane. Główną ideą przyświecającą ich twórcom było to, by zastąpiły one przynajmniej w części człowieka - eksperta w danej dziedzinie. Nie zawsze z tej wiedzy można skorzystać, biorąc pod uwagę różne wydarzenia losowe. System, który mógłby zastąpić człowieka powinien stwarzać możliwość obniżenia kosztów i przyspieszenia procesu podejmowania decyzji oraz uniezależniać ważne dziedziny od czasowej niezdolności do pracy człowieka. *Systemy ekspertowe* powinny umożliwiać wykonanie obiektywnej ekspertyzy, łatwej do przenoszenia i dokumentowania. System ekspertowy winien być stale gotowy do pracy, co nie zawsze jest możliwe w przypadku współpracy z ekspertem człowiekiem. *Systemy ekspertowe* wykorzystują najczęściej zapisaną deklaratywnie wiedzę pozyskaną od eksperta w *bazach wiedzy* (knowledge bases) [9]. Działanie systemu polega na zrealizowaniu procesu wnioskowania, który na podstawie znanych faktów prowadzi do potwierdzenia założonych z góry hipotez, bądź wyprowadzenia na podstawie tychże hipotez nowych wniosków. Proces wnioskowania jest uwiarygodniany wyjaśnieniami odnośnie sposobu wnioskowania - rozumowania systemu i celowości zadawanych pytań. *Systemy ekspertowe* umożliwiają także wnioskowanie wówczas, gdy mamy do czynienia z wiedzą niekompletną lub niepewną. Do tego typu wnioskowania wykorzystywane są w *systemach ekspertowych* inne rozwiązania, takie jak: metoda współczynników pewności, metody probabilistyczne czy logika rozmyta.

Główne cechy systemu ekspertowego, które odróżniają go od innych to:

- praca systemów w oparciu o zbiór faktów i reguł oparta na bazie wiedzy z danej dziedziny;
- mechanizm wnioskowania - rozumowania systemu;
- zdolność do zadawania pytań użytkownikowi systemu;
- umiejętność wyjaśniania drogi wnioskowania (toka rozumowania);
- umiejętność uzasadnienia wybranego rozwiązania;
- zdolność do modyfikowania sposobu działania;

- możliwość wnioskowania także w przypadku otrzymania od użytkownika informacji niepewnej lub niekompletnej;
- komunikowanie się z użytkownikiem w języku, którym użytkownik się posługuje - zbliżonym do języka naturalnego [7].

Systemy ekspertowe można ogólnie podzielić na trzy kategorie:

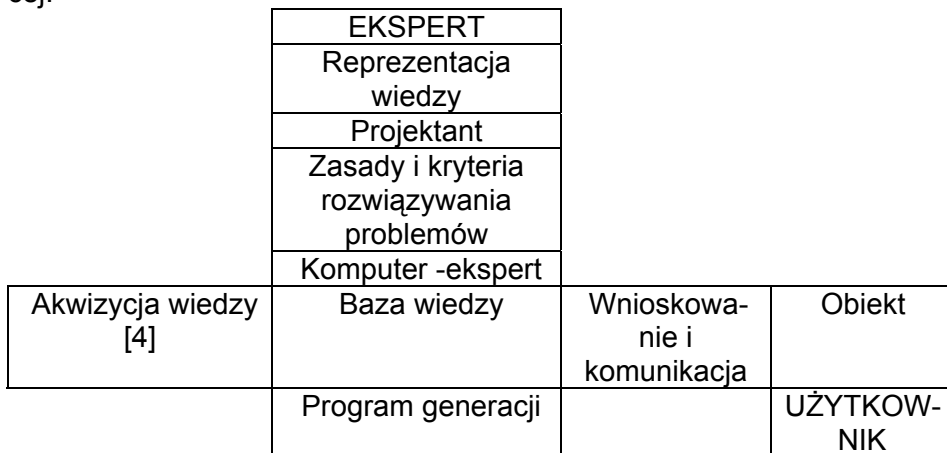
- doradcze wspomagające podejmowanie decyzji. Użytkownik może odrzucić rozwiązanie proponowane przez system i zażądać innego rozwiązania;
- sterujące podejmujące decyzje bez kontroli człowieka. Używane są do sterowania obiektami, gdzie udział człowieka jest utrudniony lub niemożliwy;
- krytykujące rozwiązanie problemu, system dokonuje analizy i komentuje rozwiązanie.

Możliwości programu ekspertowego (w zakresie rozwiązywanego problemu) zależą głównie od zawartej - zakodowanej wiedzy w tym systemie, nie zaś w jego formalnej strukturze i schematach wnioskowania, których używa system. „Im pełniejsza jest wiedza, tym szybciej uzyskuje się rozwiązanie. Aby zbudować inteligentny program, należy go wyposażyć w dużą ilość dobrej jakości, specyficznej wiedzy o danym przedmiocie” [15]. Wiedza niezbędna do zapewnienia wysokiego poziomu ekspertyzy wraz z procedurami wnioskowania może być uważana za model ekspertyzy, normalnie możliwej tylko w wyniku działania najlepszych specjalistów z danej dziedziny. Wiedza w systemie ekspertowym zazwyczaj składa się z faktów i heurystyk. Fakty stanowią podstawę wiedzy systemu - jest to informacja, która jest dostępna i powszechnie akceptowana przez ekspertów w danej dziedzinie. Heurystyki są informacjami bardziej prywatnymi charakteryzującymi proces ewoluowania i rozwiązania problemu przez konkretnego specjalistę - eksperta. Mogą to być: przypuszczenia, zdroworozsądkowe zasady formułowane na podstawie wieloletnich doświadczeń, a także intuicyjnych domysłów. W zależności od jakości i rozmiaru bazy wiedzy systemu zależy możliwy jest do uzyskania z systemu poziom ekspertyzy [1].

4 Struktura systemu ekspertowego

Konstruowanie systemów ekspertowych należy do tzw. *inżynierii wiedzy* (knowledge engineering). Zasadniczym zadaniem inżynierii wiedzy jest pozyskanie wiedzy a następnie jej grupowanie (strukturalizacja) i przetwarzanie. Inżynieria wiedzy zajmuje się także rozwijaniem metod i narzędzi do budowy systemów ekspertowych. W szczególności może obejmować ona tworzenie metod programowania dla umożliwienia wyboru odpowiednich metod wnioskowania i wyjaśnienia rozwiązywanych

problemów oraz projektowania inteligentnych interfejsów. Struktura systemów ekspertowych jest tak zorganizowana, że wiedza dotycząca danej dziedziny, gromadzona w *bazie wiedzy* jest oddzielona od reszty systemu ekspertowego zawierającej sterowanie wiedzą poprzez odpowiednie mechanizmy wnioskowania (*maszyna wnioskująca*) [10]. Edukacyjny system ekspertowy składa się więc z trzech zasadniczych bloków: bazy wiedzy, interfejsu z użytkownikiem oraz maszyny wnioskującej.



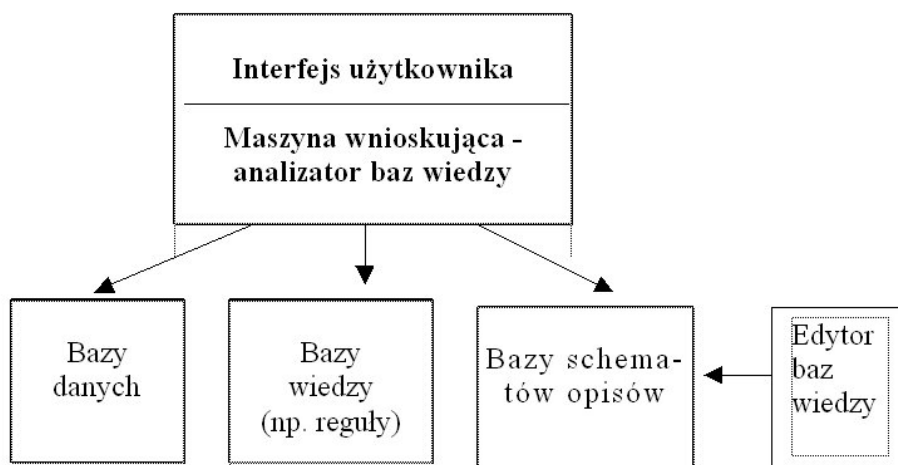
Rys. 1. Ogólny schemat systemu ekspertowego

Przy bardziej szczegółowym rozważaniu struktury systemów ekspertowych można w tej strukturze wyróżnić poniższe podstawowe elementy składowe:

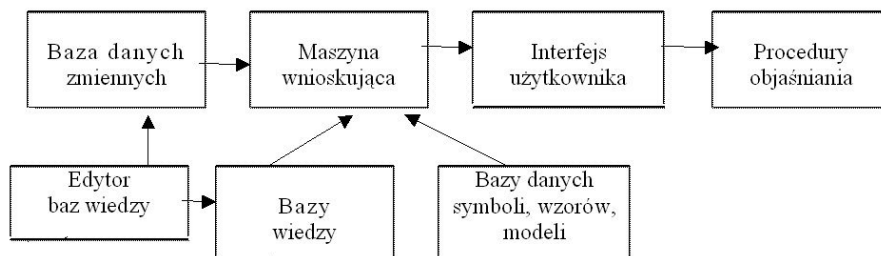
- bazy wiedzy, np. zbiór reguł systemu, symboli, opisów, schematów;
- bazy danych (np. dane o obiekcie, wyniki pomiarów, hipotezy);
- procedury wnioskowania (maszyna wnioskująca) – analizator baz wiedzy;
- procedury objaśniania - objaśniają strategię (sposób) wnioskowania;
- procedury sterowania dialogiem - procedury wejścia/wyjścia umożliwiają formułowanie zadań przez użytkownika i przekazywanie rozwiązania przez program;
- procedury umożliwiające rozszerzenie oraz modyfikację wiedzy - pozyskiwanie wiedzy.

Uwzględniając w/w elementy ideę systemu ekspertowego można przedstawić w postaci schematu pokazanego na rys. 1 [9]. Systemy z bazami wiedzy wydzielonymi z pozostałych modułów programu nazywane są systemami opartymi na bazie wiedzy. Są one często

wykorzystywane jako systemy wspomagające podejmowanie decyzji. Wiedza obejmująca daną dziedzinę wiedzy może być wprowadzona do systemu ekspertowego różnymi sposobami. Jedną z metod pozyskiwania wiedzy jest prowadzenie dialogu z ekspertem przez inżyniera wiedzy. Typowy proces pozyskiwania wiedzy pokazuje rys. 3, a strukturę typowego systemu ekspertowego przedstawiono na rys. 2. Współpraca użytkownika z systemem nazywana jest *sesją* lub też *konsultacją*. Odbывается ona za pomocą interfejsu. Problemem komunikacyjnym jest w tym przypadku klawiatura. Wprowadzenie informacji za pomocą klawiatury nastęrcza wiele trudności. Przede wszystkim jest to problem czasowy, bowiem wpisanie procedur zajmuje stosunkowo duży przedział czasu. Projektowane są systemy, w których komunikacja odbywa się za pomocą głosu, a więc w sposób naturalny.



Rys. 2. Struktura systemu ekspertowego

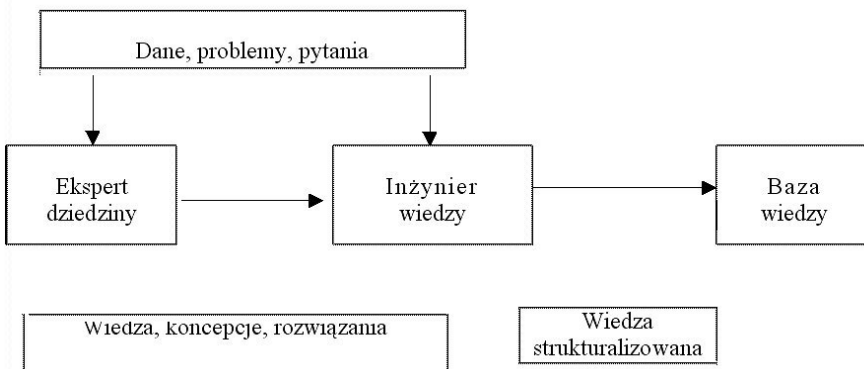


Rys. 3. Typowy proces pozyskiwania wiedzy

Do budowy systemów ekspertowych wykorzystuje się różne narzędzia. Prowadzi to w konsekwencji do specjalizacji osób tworzących system ekspertowy.

5 Bazy wiedzy

„Baza wiedzy jest częścią systemu, zawierającą wiedzę o dziedzinie i o podejmowaniu decyzji przez eksperta. Wiedza ta może być przechowywana w różnej postaci. Na jej podstawie dokonuje się wnioskowanie w systemie. Jeśli wiedza jest rozległa, może być podzielona na kilka poziomów, wówczas zawartość wyższych poziomów to metawiedza, czyli „wiedza o wiedzy”. Niemożliwe jest istnienie systemu eksperckiego bez wiedzy.” [12, s. 21]. Powyższa definicja jest typową definicją bazy wiedzy, oddaje najlepiej, w sposób najbardziej prosty, przejrzysty i zrozumiały istotę bazy wiedzy. Baza wiedzy tworzona jest przez inżyniera wiedzy, który przy jej tworzeniu - budowie wykorzystuje wiedzę i doświadczenie ekspertów z danej dziedziny wiedzy. Jakość systemu ekspertowego jest odbiciem zgromadzonej - zakodowanej w systemie wiedzy. Typowy proces pozyskiwania wiedzy pokazuje rys. 4 [15]. Baza wiedzy zawiera zbiór faktów i reguł niezbędnych do rozwiązania problemu w danej dziedzinie. Fakty są reprezentowane w postaci związku między pewnymi obiektami, które charakteryzują się różnymi cechami (atrybutami). Można również określić bazę wiedzy w nieco inny sposób: „Baza wiedzy zawiera ogólne informacje o określonej dziedzinie wiedzy, w zdefiniowanym zakresie. Jest konstrukcją programową, przy czym ciągły postęp w pracach naukowo - badawczych nad opracowaniem nowych układów pamięci skojarzeniowych pozwala przypuszczać, że w przyszłości baza wiedzy będzie konstrukcją sprzętowo - programową.” [5, s. 27].



Rys. 4. Typowy proces pozyskiwania wiedzy.

„Baza wiedzy zawiera fakty, reguły i procedury wnioskowania, heurystyczne reguły postępowania, globalne strategie oraz teorię rozpatrywanej dziedziny. Zawartość bazy wiedzy przedstawiana jest zwykle w postaci trzech podzbiorów [15, s. 244]:

- słownik zawierający fakty z dziedziny wiedzy, w której działa system;
- bazę faktów początkowych zawierającą wszystkie fakty możliwe do określenia w danej chwili, tzn. w momencie definiowania problemu;
- bazę reguł obejmującą operatory przekształceń w postaci reguł logicznych, heurystycznych.

Można na podstawie powyższych definicji określić bazę wiedzy jako program informatyczny oparty na faktach z danej dziedziny wiedzy oraz na regułach wnioskowania, które modyfikują fakty z danej dziedziny. Procedury wnioskowania oparte na regułach wnioskowania w postaci:

IF warunek_X THEN akcja_1 ELSE akcja_2

Oznacza to, że jeżeli zostanie spełniony warunek X, to podejmujemy akcję 1, a w przeciwnym wypadku – akcję 2. Można to określić w prosty sposób, że system ekspertowy wykonana jakieś działanie (np. przedstawi diagnozę), jeżeli dostarczone zostaną odpowiednie przesłanki. Część warunkowa zawiera przesłanki, dzięki którym zadawane są pytania o związki między cechami charakteryzującymi obiekty. Jeżeli w programie zostanie uznana jakaś reguła, to następuje jej uaktywnienie zwane uaktywnieniem reguły lub też tłumacząc przytoczony zwrot, odpaleniem reguły. Dzięki uaktywnieniu reguł nowe fakty (wnioski) dodawane są do istniejącej bazy lub wykonywane są odpowiednie reakcje programu. Systemy, które opierają się na regułach nazywane są systemami regułowymi (rule-based programming) i są to systemy (programy) najpopularniejsze, najczęściej spotykane w praktyce. Duża liczba systemów ekspertowych opiera się na regułowych bazach wiedzy. Stąd też w praktyce spotyka się określenia systemów ekspertowych jako systemy regułowe. W systemie ekspertowym należy zdefiniować obiekty, relacje między obiektami, reguły i określić kompletność i spójność bazy wiedzy.

Rozróżniamy pięć typów baz wiedzy:

1. baza tekstów (text base) - posiada naturalną strukturalizację zawartych w niej informacji, przy czym charakterystyczne jest to, że nie jest ona uporządkowana i operacje w tej bazie mogą być wykonywane w sposób dowolny. Przykładem tego typu bazy mogą być słowniki z danej dziedziny zawierające informacje ogólne.
2. baza danych (data base) - przechowuje specyficzne, szczegółowe informacje, przy czym w tym przypadku charakterystyczne jest to, że informacje są uporządkowane.
3. baza reguł (rule base) - zawiera wiedzę z wybranej dziedziny wiedzy o zależnościach w tej dziedzinie występujących. Jest najważniejszą częścią bazy wiedzy.

4. baza modeli (model base) - zawiera modele matematyczne danej dziedziny. Modele te są logiczno - matematycznym przedstawieniem pojęcia, systemu lub działań. Możemy wyróżnić trzy typy modeli: model deterministyczny - przedstawienie analityczne pojęcia, systemu lub działań, w którym dla danych wielkości wejściowych wyniki są jednoznacznie określone; model niedeterministyczny zwany też modelem stochastycznym - w modelu tym powiązania funkcyjne zależą od wielkości losowych. Dla danych wielkości wejściowych wyniki mogą być przewidziane zgodnie z zasadami probabilistyki ; model wartości oczekiwanych - w tym modelu wielkościom losowym nadane zostały ich wartości oczekiwane.
5. baza wiedzy zdroworozsądkowej (common sense knowledge base) - odzwierciedla potencjalne, racjonalne zachowania się człowieka. Baza wiedzy zdroworozsądkowej zawiera reguły definiujące sposoby podejmowania decyzji. Jest to wiedza o wiedzy, czyli metawiedza o sposobie przetwarzania wiedzy z danej dziedziny.

Istotną rzeczą jest konstrukcja bazy wiedzy z danej dziedziny. Stanowi ona podstawę poprawnego funkcjonowania systemu ekspertowego. Bardzo ważnym jest odpowiedni wybór faktów z danej dziedziny, wybór odpowiedniej struktury systemu i unikania błędów. Proces tworzenia bazy wiedzy jest procesem niezwykle złożonym, dlatego by ułatwić ów proces i przyspieszyć go stworzone zostały różne narzędzia wspomagające.

Dobry edytor tekstowy w bazie wiedzy ułatwia jej tworzenie i eliminuje niektóre błędy. Obecnie programy redakcyjne posiadają przyjazny użytkownikowi sposób komunikacji poprzez odpowiednie systemy okien i możliwości wprowadzania informacji w postaci graficznej. Ponadto nowoczesne systemy dokonują wielu analiz poprawności wprowadzanej informacji, co znacznie przyspiesza i ułatwia proces tworzenia bazy wiedzy. Jest to szczególnie ważne w zakresie semantycznym i syntaktycznym, pozwala sprawdzić spójność i kompletność informacji, a przez to wykryć błędy logiczne i znaczeniowe. Błędy w niewłaściwie wykonanej bazie wiedzy owocują błędami działania systemu ekspertowego. Powoduje to konieczność dokonywania zmian w utworzonej bazie wiedzy. Aby uniknąć sytuacji, iż usunięcie jednego błędu spowoduje następny błąd stosuje się kontrolę poprawności semantycznej i automatycznie testuje system. Sposób postępowania jest następujący: najpierw bada się system za pomocą reguł. Określany jest typ reguły, który najlepiej skoryguje błąd systemu, następnie tworzony jest model nowej reguły, który po przetestowaniu w wielu wariantach i ustaleniu najlepszej wersji zostaje przyjęty. Cały proces modyfikacji kontroluje inżynier wiedzy. Po przyjęciu zmodyfikowanej reguły system wykonuje jeszcze raz to samo

zadanie, w którym wcześniej wykryty został błąd. Jeśli rozwiązanie jest optymalne, inżynier wiedzy decyduje o jego wprowadzeniu do systemu. Błędy w bazie wiedzy mają bardzo ważne znaczenie, ponieważ baza wiedzy może przechowywać też informacje sprzeczne. Nie mogą one być jednak przyczyną błędnego działania systemu ekspertowego. O sprzecznościach w bazie wiedzy musi być poinformowany mechanizm wnioskowania. Wybór odpowiedniej bazy wiedzy stanowi kompromis pomiędzy zrozumiałością wybranej formy opisu wiedzy dla ekspertów oraz szybkością działania systemu ekspertowego.

6 Maszyna wnioskująca

Moduł wnioskowania nazywany jest też maszyną, mechanizmem lub algorytmem wnioskowania lub argumentowania, a także algorytmem przeprowadzania dowodu. Stanowi on fragment systemu ekspertowego, zawierający programy, które na podstawie zgromadzonej w systemie wiedzy i danych o problemie, umożliwiają wyciąganie wniosków i podejmowanie decyzji. Są to układy o układzie sprzętowo - programowym. Oprogramowanie modułu wnioskującego jest podobne do typowego programu użytkowego i działa na zasadach dedukcji. Poszukuje w pamięci komputera takiego zasobu wiedzy, który najlepiej „pasuje” do danych wejściowych. Poszukiwanie rozwiązania polega na przeszukiwaniu zbiorów informacji i danych zgromadzonych w systemie ekspertowym, które występują w logicznym związku z danymi wejściowymi, a następnie ich odpowiednim przetworzeniu. Poszukiwanie brakujących danych odbywa się w sposób zgodny z przyjętą przez konstruktora systemu ekspertowego strategią (algorytmem) rozwiązywania zadań. Wypracowanie przez system ekspertowy decyzji, bądź oceny zadanego problemu jest dokonane za pomocą ciągłego komunikowania się modułu wnioskowania z bazą wiedzy i podejmowania decyzji pośrednich. Warunkiem efektywnego działania systemu jest wykonywanie tylko takich zadań w systemie, które zbliżają system do docelowego rozwiązania. Jeśli system ekspertowy dobrze wykorzystuje strategię wnioskowania to istnieje również możliwość wykorzystania tej strategii w celu udzielenia odpowiedzi na pytania dotyczące rodzaju prowadzonego wnioskowania, bez zapamiętywania samego zadania w trakcie jego rozwiązywania. Metody wykorzystywane przez mechanizmy wnioskujące to metody nazywane najczęściej metodami heurystycznymi.

6.1 Metody wnioskowania

W systemach ekspertowych wyróżnić można kilka metod wnioskowania:

a) wnioskowanie do przodu odbywa się przez przeszukiwanie reguł, jakie muszą być spełnione, aby założona hipoteza była prawdziwa. System rozpoczyna działanie od porównania postawionej hipotezy z faktami zgromadzonymi w bazie wiedzy, sprawdzając czy pośród zgromadzonych faktów nie ma takich, które udzielają odpowiedzi na postawioną hipotezę. Jeżeli w bazie wiedzy znajduje się fakt, który można symbolicznie dopasować do wprowadzonej hipotezy, to następuje zakończenie procesu wnioskowania i wygenerowanie odpowiedniego komunikatu. Jeżeli nie uzyskano odpowiedzi pozytywnej, na podstawie analizowanych reguł wnioskowania generowane są nowe fakty. Proces jest kontynuowany do osiągnięcia celu lub wyczerpania reguł. Wnioskowanie do przodu jest korzystne przy weryfikacji określonej hipotezy i udzieleniu odpowiedzi na pytanie obejmujące tok przeprowadzonego rozumowania. Negatywną stroną tego wnioskowania jest tworzenie wielu hipotez przez system, które w sposób bezpośredni nie wiążą się z zakresem rozważanego problemu.

b) wnioskowanie wstecz ma bardziej skomplikowany przebieg. System rozpoczyna działanie od załadowania bazy wiedzy odpowiadającej postawionej hipotezie, a następnie sprawdza poprawność zapisu jej składni. Jeśli składnia jest poprawna, to poprzez odczytanie kolejnych słów kluczowych i wpisaniu odpowiednich wartości w pola struktur danych jest tworzona lista reguł. Dla każdego warunku każdej reguły zostają przeprowadzone dwa testy. Pierwszy sprawdza w głąb czy dany warunek spełnia przyjętą regułę, drugi sprawdza wszczep wszystkie warunki, czy nie ma odpowiedzi, w którymś z warunków pośrednich dotyczących problemu w jakiegokolwiek z rozpatrywanych reguł. Jeżeli oba testy dają wynik negatywny, to dany warunek jest dołączony jako fakt do listy faktów, jeśli pozytywny, to rozpatrywany jest następny warunek. Po utworzeniu w ten sposób bazy wiedzy, system stawia pytanie o cel główny - hipotezę, do którego ma dążyć i próbuje udzielić odpowiedzi na postawioną hipotezę poprzez uruchomienie procesu wnioskowania. Proces wnioskowania rozpoczyna się od przeszukania listy faktów. Jeśli na liście faktów system odnajdzie cel główny (hipotezę), to wartość celu głównego jest przez system podawana jako odpowiedź. Jeśli przeszukiwanie listy faktów skończy się niepowodzeniem, to system szuka dalej rozwiązania w konkluzjach pozostałych rozpatrywanych wcześniej reguł. Jeśli nie odnajdzie celu głównego w żadnej regule, to podaje informację o braku celu głównego (hipotezy) w bazie wiedzy. W wypadku odnalezienia odpowiedniej reguły z listy reguł, system uruchamia proces analizy warunków tej reguły. System prowadzi wnioskowanie dopóty, dopóki nie znajdzie postawionego celu głównego (hipotezy). W wyniku odnalezienia reguły opisującej cel główny następuje jej uaktywnienie, cel główny zostaje umieszczony na liście faktów a odpowiedź systemu jest przekazana użytkownikowi. Wnioskowanie wstecz zalecane jest do wy-

korzystania w systemach wspomagających procesy planowania, bowiem w planowaniu zbiorów danych wejściowych jest ograniczony, zaś zbiór celów rozbudowany. Może się zdarzyć, iż zbiór celów jest trudny do zdefiniowania. Wnioskowanie wstecz ma jednak bardzo istotną wadę, trudno jest przyjąć zmianę hipotezy, jeśli nie pasuje ona do postawionego celu głównego analizowanego problemu. „Znalezienie rozwiązania w sposób najbardziej efektywny umożliwia metoda uporządkowanego wyboru. Jednak wymaga ona posługiwania się funkcją oceny określającą, w jakim stopniu, dokonując wyboru, zbliżamy się do rozwiązania. Funkcja oceny jest trudną czasami do zdefiniowania funkcją heurystyczną. Obliczenie funkcji oceny pozwala ograniczyć przestrzeń poszukiwania, tym nie mniej pochłania czas komputera, a nie zawsze jest to możliwe do wykonania.” [5, s. 26; 20].

c) wnioskowanie mieszane jest kompromisem między wnioskowaniem do przodu i wnioskowaniem wstecz i jest pozbawione niektórych ich wad. Strategia tego wnioskowania jest oparta na wykorzystaniu reguł ogólnych, tzw. metareguł, które stanowią metawiedzę. Na podstawie metawiedzy system zarządzający dokonuje odpowiedniego przełączania między poszczególnymi rodzajami wnioskowania. Metareguly zawierają wskazówki dotyczące pierwszeństwa wyboru rodzaju wnioskowania. System przechodząc z jednego rodzaju wnioskowania na drugi rodzaj wnioskowania za hipotezę główną przyjmuje hipotezę wprowadzoną do systemu przez użytkownika. W zależności od potrzeb system może w sposób automatyczny dobierać najbardziej optymalny sposób wnioskowania. Działanie systemu opiera się jakby na dwóch maszynach wnioskujących. Można wybierać wnioskowania, wnioskowanie do przodu lub wnioskowanie wstecz zgodnie z priorytetem. Po każdym cyklu wnioskowania system sprawdza reguły zapisane w metaregulach. Jeśli nie da się wnioskować w danym kierunku wnioskowania, to system przechodzi do wnioskowania w przeciwnym kierunku. Cykle są powtarzane dopóty, dopóki system nie znajdzie rozwiązania lub też wyczerpie wszystkie możliwości wnioskowania. Jednak na każdym etapie wnioskowania system podobnie jak we wnioskowaniu do przodu i wstecz komunikuje się na bieżąco z użytkownikiem. Podstawową zaletą wnioskowania mieszanego jest skrócenie czasu potrzebnego do uzyskania rozwiązania.

d) wnioskowanie rozmyte. Idea systemów ekspertowych opiera się na przetwarzaniu informacji niedokładnych lub niepełnych. W teorii zbiorów rozmytych wyróżnia się takie operacje jak: łączenie zbiorów, podział zbiorów i tworzenie zbiorów. Operacje wykonywane na zbiorach są podobne do operacji na zbiorach tradycyjnych, z tym, że w teorii zbiorów rozmytych dopuszcza się modyfikowanie zbioru rozmytego w zależności od wykonywanych na tym zbiorze działań.

7 Interfejs w edukacyjnych systemach ekspertowych

Interfejs użytkownika stanowi element systemu odpowiedzialny za komunikację użytkownika z systemem tzn. za edycję wiedzy w systemie i wyprowadzanie rezultatów. Interfejs jest niezbędnym elementem każdego programu użytkowego, zatem jest szczególnie ważnym elementem w systemach ekspertowych. Organizacja komunikacji człowiek - komputer wymaga zaprojektowania odpowiednich metod rozpoznawania informacji przekazywanych do systemu przez człowieka jak też przez system do człowieka. W systemach edukacyjnych interfejs musi być opracowany szczególnie starannie i powinien być dostosowany do potrzeb osoby uczącej się. Występują tu istotne różnice w interfejsie programu edukacyjnego przeznaczonego dla małego dziecka, dla osoby niepełnosprawnej i osoby dorosłej. Za pośrednictwem interfejsu informacje przekazywane są do systemu ekspertowego z inicjatywy człowieka jak również pobierane i analizowane przez człowieka z systemu ekspertowego. W przypadku, gdy inicjatywa należy do systemu ekspertowego, po wprowadzeniu danych wejściowych przez człowieka system stawia hipotezę i zadaje człowiekowi tak długo pytania, aż wybrana hipoteza zostanie potwierdzona bądź odrzucona. Ten sposób komunikacji jest przyjęty w bardzo prostych systemach ekspertowych i stosowany przez osoby nie mające wielkiego doświadczenia. W systemie komputerowego wspomaganie nauczania może wystąpić problem przetworzenia różnorodnych danych wejściowych, np. w postaci mowy naturalnej, w postaci graficznej, mowy, interakcji w filmie itp. Interfejs wejściowy musi być na tyle uniwersalny, by był w stanie odpowiednio informacje przyjąć i wygenerować odpowiedzi. Projektowanie interfejsu stanowi jeden z ważniejszych problemów budowy systemów ekspertowych. Redukcja do niezbędnego minimum interfejsu wejściowego może spowodować trudności w komunikowaniu się człowieka z systemem, może mieć też wpływ na wydajność i jakość pracy systemu. W konsekwencji może to spowodować, iż użytkownik nie będzie chciał korzystać z systemu ekspertowego z powodu trudnej komunikacji z systemem. Moduł interfejsu użytkownika powinien być wyposażony w zestaw procedur sterujących i edycyjnych oraz narzędzia do graficznej i werbalnej prezentacji. Winien umożliwiać prowadzenie konsultacji poprzez modelowanie wariantów scenariuszy nauczania. Interfejs powinien umożliwiać przynajmniej częściową weryfikację wiedzy na wejściu. Istotnym elementem komunikacji człowieka z komputerem w systemach edukacyjnych jest interakcja. Konsultacje interaktywne pobudzają do aktywnego działania i prowadzą do szybszych efektów.

8 Efektywność pracy edukacyjnych systemów ekspertowych

System ekspertowy powinien zapewnić wysoki poziom wydawanych ekspertyz, ma on nie tylko zastąpić eksperta w danej dziedzinie, ale jego opinie winny być jednakowe przy zachowaniu identyczności wprowadzonych parametrów wnioskowania. Poprawność wnioskowania systemu oznacza, że zadania rozwiązywane przez system rozwiązane są w określonym dopuszczalnym czasie, z dobrymi wynikami, przy założeniu dysponowania przez system strategiami umożliwiającymi imitowanie wiedzy i intuicji eksperta z danej dziedziny. Jakość pracy systemu powinna być porównana z rezultatami osiągniętymi przez człowieka - eksperta określonej dziedziny, o wieloletnim doświadczeniu. Niektóre systemy ekspertowe mogą dawać lepsze wyniki niż ekspert-człowiek.

W systemach ekspertowych wykorzystuje się heurystyczne metody i techniki przeszukiwania przestrzeni możliwych rozwiązań. Najczęściej stanowią one struktury drzewiaste, których przeszukiwanie bywa czasochłonne. Jednak w systemach edukacyjnych czas odgrywa mniejszą rolę niż np. w systemach rozwiązywania problemów w systemach sterowania bezpośredniego. Człowiek w swoim wnioskowaniu często opiera się na intuicji, nie potrafiąc dobrze uzasadnić swoich przekonań, poglądów, przypuszczeń i innych rozstrzygnięć. Są one często poprawne logicznie i wprowadzające wiele innowacji, odkryć, etc. Jednakże bardzo trudno jest je jednoznacznie zidentyfikować i określić. W takiej sytuacji o wiele trudniej jest stworzyć odpowiednią liczbę reguł wnioskowania, by wnioskowanie systemu było odwzorowaniem wnioskowania człowieka. Jedynym rozsądnym rozwiązaniem wydaje się ograniczenie reguł wnioskowania, często realizowane w systemach edukacyjnych.

Ważną cechą systemów ekspertowych jest uniwersalność, co oznacza, że umożliwiają one rozwiązywanie klasy zadań. Wymaga to jednak zgromadzenie w bazie wiedzy dużej liczby różnorodnych reguł. Liczba uniwersalnych reguł powinna być na tyle duża, by zapewnić wielość możliwych rozwiązań w zależności od wprowadzanych innowacji do systemu w zakresie danej dziedziny wiedzy. Większość systemów obejmuje jedną dziedzinę wiedzy. Stopień skomplikowania systemu ekspertowego określa dziedzina, jakiej system ekspertowy dotyczy. Ogólnie ocena złożoności systemów ekspertowych określa liczbę reguł wnioskowania lub wielkość bazy danych. Duże systemy ekspertowe mogą mieć od kilku do kilkudziesięciu tysięcy reguł. Przeszukiwanie ogromnych baz wiedzy w procesie wnioskowania sprawia problemy programowe prowadzące do zapętleń programu a także problemy czasowe.

System ekspertowy winien posiadać możliwość uzasadnienia użytkownikowi przyjętego rozwiązania. Jest to konieczne nie tylko po dokonaniu całkowitego wnioskowania i przedstawienia sposobu rozwiązania problemu lub diagnozy, ale także na każdym etapie wnioskowania, czyli

po każdym etapie obejmującym rozwiązanie częściowe. System dokonuje wnioskowania wstecz jako dodatkowe zadanie wymagające ekspertyzy. Istotna jest niesprzeczność uzyskanych wyników na podstawie wnioskowania z faktami zawartymi w bazie wiedzy. Aby tę zasadę zachować systemy ekspertowe posiadają tzw. moduł niesprzeczności. Moduł ten umożliwia systemowi autoanalizę i rekonstrukcję pewnego ciągu wnioskowania. Nie dokonuje się przy tym ścisłego pomiaru ilościowego zdolności systemów do autoanalizy, byłby to bowiem proces bardzo trudny, nie zawsze jest on zresztą możliwy i niezbędny. Systemy pracujące w czasie rzeczywistym muszą bardzo szybko reagować na zmiany zachodzące w otoczeniu, co często utrudnia lub wręcz uniemożliwia jednoczesne prowadzenie dialogu z człowiekiem. Podają one najczęściej gotowy produkt swej pracy - wynik, który jest zrozumiały dla człowieka. Podstawową cechą systemu ekspertowego jest ciągłe rozszerzanie wiedzy systemu o nowe fakty i reguły wnioskowania. System ekspertowy powinien zawierać cechy udoskonalające jego działanie, czyli musi on mieć wbudowane odpowiednie mechanizmy, które umożliwią mu działanie pozwalające na rozbudowę bazy wiedzy i mechanizmów wnioskowania. Jakże to będą mechanizmy i jak daleko można rozszerzyć bazę wiedzy zależy to od użytkowników i konstruktorów systemu.

9 Zakończenie

Systemy ekspertowe są z powodzeniem stosowane w zarządzaniu przedsiębiorstwem, analizie ekonomicznej firmy, doradztwie finansowym, podatkowym, inwestycyjnych. Rozwój systemów ekspertowych zmierza w kierunku poszerzania ich baz wiedzy i uniwersalizacji. W edukacji systemy ekspertowe łączone są z systemami multimedialnymi, prezentacyjnymi i tworzą systemy nazywane hybrydowymi. W firmie AITECH podjęto prace projektowe na bazie szkieletowego systemu ekspertowego PC-Shell dotyczące systemu hybrydowego obejmującego swym zasięgiem zintegrowany system zarządzania przedsiębiorstwem. Zawiera on wszystkie elementy zintegrowanego systemu zarządzania, takie jak systemy ewidencyjne, systemy informowania kierownictwa, systemy wspomaganie decyzji oraz systemy z bazą wiedzy - systemy ekspertowe dziedzinowe [20]. Autorzy liczą, że w przyszłości możliwe będzie integrowanie tychże systemów i stworzenie jednolitego systemu ekonomicznego o dość szerokim zastosowaniu, w zależności od dołączonej bazy wiedzy. W systemach ekspertowych stosowane są też algorytmy genetyczne i sztuczne sieci neuronowe. Algorytmy genetyczne pojawiły się na początku lat osiemdziesiątych i początkowo stosowane były w badaniach operacyjnych. Z dużym powodzeniem zastosowano algorytmy genetyczne w zarządzaniu firmą. Metody z wykorzystaniem

algorytmów genetycznych są skuteczne w rozwiązywaniu problemów biologicznych i podobnych do rozwijania się życia. Z powodzeniem stosowano również algorytmy genetyczne, np. w symulowaniu problemów biologicznych, grach edukacyjnych, itp.

Sieci neuronowe są inteligentnym narzędziem ułatwiającym i pozwalającym w sposób stosunkowo niezbyt skomplikowany przetwarzać duże, źle udokumentowane i niekompletne zbiory danych. Zalety i możliwości sieci neuronowych spowodowały, że odnotowano liczne przypadki skutecznych zastosowań. Podejście neuronalne zostało zastosowane z powodzeniem do rozpoznawania obrazów (np. pisma odręcznego), klasyfikacji obiektów [19]. Obszarem zastosowań sieci neuronowych jest nauczanie i ocenianie. W praktycznym zastosowaniu ograniczenia i ułomności systemów ekspertowych, algorytmów genetycznych i sieci neuronowych skłoniły projektantów systemów do szukania doskonałych rozwiązań w postaci systemów hybrydowych, w których w ramach jednego programu wykorzystuje się wszystkie techniki inteligentne. System hybrydowy stanowi strukturę, w której jedna technika jest nadrzędną i zarządza pozostałymi technikami. Przykładem obszaru zastosowań systemów hybrydowych jest nauczanie multimedialne, egzaminowanie, doradztwo, diagnoza.

Inteligentne systemy edukacyjne są obecnie najwyżej zorganizowanymi systemami komputerowego wspomaganie procesu edukacyjnego, które mogą być zarówno narzędziem wspomagającym pracę nauczyciela jak i środkami służącymi do samokształcenia. Mogą być one realizowane jako systemy jednostanowiskowe i rozproszone, co pozwala na jednoczesne korzystanie z nich przez duże grupy osób jak również na uzupełnianie ich wiedzy przez wielu nauczycieli (ekspertów) z różnych instytucji. Nowe technologie sprawiają, że przy pewnym minimalnym wyposażeniu sprzętowym ucznia (komputer multimedialny podłączony do sieci Internet) dostępność materiałów dydaktycznych, systemów wspomagających proces samokształcenia i proces dydaktyczny może być powszechna. Wysoki poziom interakcji zawarty w tych systemach sprawia, że proces uczenia staje się procesem aktywnym i skutecznym. Tworzenie inteligentnych systemów uczących w Polsce jest ciągle zbyt mało zaawansowane. Szkolnictwu potrzebne są efektywne i atrakcyjne i dobrze zorganizowane multimedialne systemy edukacyjne. Ma to szczególnie duże znaczenie w dziedzinach typowo polskich (historia Polski, literatura polska, geografia Polski, sztuka polska, ekologia itd.), w których trudno dokonać adaptacji podobnych systemów wykonanych w innych krajach. Doświadczenia w stosowaniu takich systemów jak system Plato są bardzo pozytywne. Wskazują na to opinie zarówno nauczycieli jak i studentów. Wielu projektantów systemów komputerowego wspomaganie nauczania i uczenia się dokonywało przez wiele lat adaptacji sprawdzonych w systemie Plato rozwiązań. Systemy eksper-

towe stosowane są także w badaniach edukacyjnych do interpretacji wyników jakościowych tych badań. Opracowano szereg programów komputerowych służących do analizy wyników badań w postaci tekstów języka naturalnego, obrazów, czy nagranych wypowiedzi.

Literatura

- [1] Addis T.R.: *Designing Knowledge Based Systems*, Kogan Page, 1986, p. 322.
- [2] Aleksander I., Burnett P.: *Thinking Machines. The Search for Artificial Intelligence*, Oxford Univ. Press, 1987.
- [3] Allerhand M.: *Knowledge-based speech pattern recognition*, Kogan Page, London, 1987.
- [4] Arciszewski T., Mustafa M., Ziarko W.: *A methodology of design knowledge acquisition for use in learning systems*, Int. Journal of Man-machine Studies, 1987, Vol. 27, p. 23-32
- [5] Badźmirowski K., M. Kubiś: *Systemy ekspertowe*, Przemysłowy Instytut Elektroniki, Warszawa 1991.
- [6] Bolc L., Borodziejewicz W., Wójcik M.: *Podstawy przetwarzania informacji nieprecyzyjnej i niepełnej*, WNT, Warszawa, 1991, s. 184.
- [7] Bolc L., Cichy M., Różańska L.: *Przetwarzanie języka naturalnego*, WNT, 1982, s. 167.
- [8] Bolc L., Zaremba J.: *Wprowadzenie do uczenia się maszyn*, PLJ, Warszawa, 1994.
- [9] Bubnicki Z.: *Wstęp do systemów ekspertowych*, PWN, Warszawa 1990.
- [10] Chromiec J., E. Strzemieczna, *Sztuczna inteligencja - metody konstrukcji i analizy systemów eksperckich*, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 1994.
- [11] Chwiałkowska E.: *Sztuczna inteligencja w systemach eksperckich*, Mikom, Warszawa 1991.
- [12] Forsyth R. (ed.): *Expert systems. Principle and case studies*, Chapman and Hall Computing, London, N.Y., 1989.
- [13] Hawkins D.: *An analysis of expert thinking*, Int. Journal of Man Machine Studies, Academic Press, Vol. 18(1), 1983, pp. 1-47.
- [14] Keravnou E.T., Johnson L.: *Competent Expert Systems. A case study in fault diagnosis*, Kogan Page, 1986, p. 320
- [15] Mulawka J. J.: *Systemy ekspertowe*, WNT, Warszawa 1996, s. 235.

- [16] Nebendahl D.: *Expert Systems. Part I Introduction to the technology and application*, Siemens-Wiley, 1988, p. 244.
- [17] Rutkowski L.: *Metody i techniki sztucznej inteligencji*, PWN, Warszawa, 2005, s. 435
- [18] Simiński R.: *Sztuczna inteligencja w systemach zarządzania*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 1997
- [19] Sonka M., Hlavac V., Boyle R.: *Image Processing, Analysis and Machine Vision*, Chapman and Hall, 1994.
- [20] Dokumentacja systemu PC-Shell firmy AITECH (www.aitech.com.pl)

EXPERT SYSTEMS

Summary – The computer technology is used by many teachers and students in educational process. There are many interesting computer educational methods and systems but intelligent learning systems are very interesting for teachers and students. It can be used in self-education and examinations. The structure of these systems is similar to expert systems. It contains data base systems, data base editor, rule bases, deductive module and user interface. The graphics, sound, pattern recognition and image analysis problems are processed in this educational software. Intelligent educational systems were used in computer network and in some applications with hypermedia technology