

I. ROZPRAWY, BADANIA, MATERIAŁY

SYSTEMY EKSPERTOWE

Małgorzata Wilińska
Uniwersytet Warszawski

Systemy ekspertowe, język Prolog, reprezentacja wiedzy

Systemy ekspertowe, zwane również systemami automatycznego rozstrzygnięcia, to programy komputerowe zdolne do rozwiązywania złożonych problemów wymagających wiedzy z danej dziedziny (wiedzy ekspertowej), zdolne do wyciągania wniosków i do podejmowania decyzji w oparciu o przeprowadzone rozumowanie. Działają w sposób zbliżony do procesu rozumowania człowieka, są więc przedmiotem badań nad sztuczną inteligencją (*Artificial Intelligence*). Ich początek datuje się na rok 1956, kiedy to, podczas roboczej konferencji w Dartmouth zorganizowanej przez Johna McCarthy'ego, Allen Newell i Herbert Simon zaprezentowali swój program komputerowy Logic Theorist. Przyjęto wówczas nazwę nowej dziedziny zaproponowaną przez Johna McCarthy'ego – Artificial Intelligence. Program Logic Theorist potrafił udowodnić twierdzenia rachunku zdań, m.in. większość twierdzeń z rozdziału II dzieła Whitehead'a i Russel'a *Principia Mathematica* (Niederliński 2006: 31).

Podstawowymi elementami systemu ekspertowego są (Niederliński 2006; 19):

- a) baza wiedzy,
- b) system wnioskujący.

Baza wiedzy zawiera wiedzę z danej dziedziny, tzw. wiedzę dziedzinową w postaci jawnej, tj. w postaci plików tekstowych, w których wiedza zapisana jest w sposób zrozumiały zarówno dla użytkowników, jak i ekspertów. Natomiast system wnioskujący, tzw. maszyna wnioskująca (Mulawka 1996: 22) jest programem wykonywalnym będącym mechanizmem sterowania wiedzą dziedzinową, którego zadaniem jest wnioskowanie nowych danych na podstawie wiedzy zgromadzonej w bazie wiedzy oraz zadeklarowanych przez użytkownika danych początkowych. Dane deklarywane przez użytkownika są odpowiedziami na pytania generowane przez system. Wnioski systemu ekspertowego przechowywane są w dynamicznej bazie danych, którą obok edytora bazy wiedzy i łącza użytkownika (tzw. interfejs użytkownika) Niederliński zalicza do elementów pomocniczych systemu ekspertowego.

Charakterystyczną cechą systemu ekspertowego jest oddzielenie wiedzy ekspertowej od procedur sterowania, czyli od maszyny wnioskującej i podręcznej pamięci. Dzięki takiemu rozwiązaniu, możliwe jest wprowadzanie danych do bazy wiedzy i ich aktualizacja zarówno przez informatyka, jak i eksperta, od którego następuje akwizycja wiedzy. Cechami odróżniającymi system ekspertowy od „tradycyjnego” programu komputerowego jest jawna reprezentacja wiedzy i zdolność systemu do wyjaśnienia sposobu rozwiązania danego problemu. System ekspertowy umożliwia inkrementalne rozwijanie bazy wiedzy, czyli uzupełnianie wiedzy o nowe dane na każdym etapie działania systemu.

Należy podkreślić również, że systemy ekspertowe rozwiązują problemy z wykorzystaniem różnych metod wnioskowania, a nie tylko w oparciu o jeden algorytm. Ponadto, systemy ekspertowe w większości wykorzystują przetwarzanie symboli, w mniejszym zaś stopniu obliczenia numeryczne.

Systemy komputerowe, których bazy wiedzy zostały oddzielone od pozostałych modułów, nazywane są systemami opartymi na bazach wiedzy (*knowledge based system*). Taka struktura systemów pozwala na wykorzystanie ich w funkcji systemów wspomagających podejmowanie decyzji (*decision support systems*) (Mulawka 1996: 23).

Istnieją również uniwersalne systemy ekspertowe nieposiadające wiedzy dziedzinowej, zwane systemami ekspertowymi skorupowymi. Stanowią one środowisko programowe dla ekspertów dziedzinowych, którzy w drodze tzw. programowania deklaratywnego mogą sami, bez udziału informatyków, ładować system posiadaną wiedzą z danej dziedziny i dostosowywać system do swoich potrzeb. Programowanie tą metodą polega na opisie problemu, tzn. na podaniu systemowi przez użytkownika wszystkich zależności logicznych i matematycznych dotyczących problemu, nie zaś na podawaniu algorytmu, czyli sekwencji kroków prowadzących do uzyskania rozwiązania. Do systemu ekspertowego skorupowego wpisany jest w systemie wnioskującym algorytm uniwersalny dla wszystkich baz wiedzy, napisany zgodnie z zasadami systemu wnioskującego (Niederliński 2006: 24).

W literaturze wskazuje się na następujący podział systemów ekspertowych (O' Callaghan 2003: 25):

a) systemy ekspertowe wykorzystujące do reprezentacji wiedzy zbiory reguł (*rule-based reasoning*),

b) systemy ekspertowe wykorzystujące do reprezentacji wiedzy zbiór przypadków (*case'ów - case-based reasoning*),

c) hybrydowe systemy ekspertowe, będące połączeniem systemów opartych na regułach oraz systemów opartych na case'ach (*hybryd expert systems*).

Systemy ekspertowe wykorzystujące zbiór reguł (RBR) wykorzystują również zbiór faktów. Reprezentacja regułowa wykorzystywana jest w systemach dedukcyjnych, w których zbiór faktów początkowych przekształcany jest w zbiór faktów końcowych. System ekspertowy wykorzystujący do reprezentacji wiedzy zbiór reguł jest użyteczny np. do klasyfikowania, prognozowania, monitorowania (Mulawka 1996: 49).

Systemy ekspertowe wykorzystujące do reprezentacji wiedzy zbiory case'ów (CBR) wykorzystują wiedzę zawartą w „doświadczonych” już przypadkach. Rozwiązują one nowe problemy poprzez zaimplementowanie rezultatów uży-

skanych w wyniku rozwiązania wcześniejszych problemów. Rozwiązanie nowego problemu następuje poprzez odnalezienie podobnego do niego case'u w bazie wiedzy i zastosowanie do aktualnego problemu rozwiązania skojarzonego z odnalezionym case'em. Systemy ekspertowe wykorzystujące metodę CBR wykonują następujące operacje: wyszukanie (ang. *retrieve*) najbardziej podobnego case'u lub zbioru case'ów, wykorzystanie (ang. *reuse*) wiedzy zawartej w wyszukanym przypadku do rozwiązywania problemu, ocena przydatności (ang. *revise*) zaproponowanego rozwiązania, zapamiętanie (ang. *retain*) rozwiązywanego case'u i zastosowanego do niego rozwiązania w celu wykorzystania go w przyszłości do rozwiązania kolejnych problemów (Kempa 2003: 327).

Systemy hybrydowe łączą w zakresie reprezentacji wiedzy elementy systemów opartych na regułach (RBR) z systemami opartymi na case'ach (CBR) i stosują więcej niż jedną technikę do rozwiązywania problemów. Systemy hybrydowe (Mulawka 1996: 127) są więc połączeniem tradycyjnych systemów ekspertowych, systemów uczących się, sztucznych sieci neuronowych oraz algorytmów genetycznych. Hybrydowe systemy ekspertowe (Kwaśnicka 2007: 47) łączą w sobie zalety poszczególnych metod reprezentacji wiedzy i rodzajów wnioskowania. Istnienie systemów hybrydowych uzasadnione jest brakiem możliwości modelowania w taki sam sposób i za pomocą tych samych narzędzi wszystkich problemów i ich rozwiązywania.

System ekspertowy wyznacza wnioski i wyniki z wiedzy zapisanej w bazie wiedzy. Operacje niezbędne do wyznaczania wniosków i wyników są przez system wnioskujący dynamicznie syntezowane dla każdej bazy wiedzy, nie są natomiast programowane w trakcie jej tworzenia (Niederliński 2006: 19).

Pod względem funkcjonalnym systemy ekspertowe można podzielić na trzy ogólne kategorie:

- a) systemy doradcze (*advisory*),
- b) systemy podejmujące decyzję bez kontroli człowieka (*dictatorial*),
- c) systemy krytykujące (*criticizing*).

Cechą systemów doradczych jest to, że prezentują użytkownikowi propozycję rozwiązania, użytkownik zaś ocenia jego jakość w oparciu o swoją wiedzę i, jeśli uzna je za niewłaściwe, może odrzucić rozwiązanie oferowane przez system i żądać innego. Natomiast systemy podejmujące decyzję bez kontroli człowieka są same dla siebie końcowym autorytetem, co oznacza, że system jest całkowicie samodzielny w uzyskiwaniu rozwiązania. W wypadku systemu krytykującego to system dokonuje analizy i komentuje uzyskane rozwiązanie zaproponowane przez użytkownika (Mulawka 1996: 22).

Struktura systemu ekspertowego

W literaturze strukturę systemu ekspertowego przedstawia się różnie, ale różnice dotyczą wyłącznie nazewnictwa oraz liczby modułów włączanych do struktury systemu ekspertowego. Przykładowo Mulawka (Mulawka 1996: 23) uznaje, iż w skład struktury systemu wlicza się:

- a) bazę wiedzy (np. zbiór reguł systemów RBR, baza case'ów systemów CBR),
- b) bazę danych (np. dane o obiekcie, wyniki pomiarów, hipotezy),

- c) procedury wnioskowania,
- d) procedury objaśniania,
- e) procedury sterowania dialogiem,
- f) procedury umożliwiające rozszerzanie oraz modyfikację wiedzy (pozyskiwanie wiedzy).

Opisując strukturę systemu ekspertowego od strony techniczno-informacyjnej, należy wymienić (Niederliński 2006: 21):

a) plik wykonywalny o rozszerzeniu .exe, który zawiera system wnioskujący, interfejs użytkownika, edytor bazy wiedzy i dynamiczną bazę wiedzy. W systemach używanych komercyjnie kod źródłowy pliku nie jest udostępniany użytkownikowi. Plik wykonalny nazywa się również systemem ekspertowym właściwym lub systemem ekspertowym skorupowym;

b) plik tekstowy stanowiący bazę wiedzy systemu ekspertowego skorupowego, o semantyce zrozumiałej dla systemu i umożliwiającej wnioskowanie.

Przykładem systemów ekspertowych są polskie systemy prawnicze zaprojektowane przez Antoniego Niederlińskiego oraz Tomasz Żurka i Emila Kruka.

Na podstawie ustawy z dnia 17 grudnia 1998 r. o emeryturach i rentach z Funduszu Ubezpieczeń Społecznych (Dz. U. nr 162 poz. 118 z późniejszymi zmianami) Antoni Niederliński stworzył bazę wiedzy systemu ekspertowego. Akt ten, zdaniem autora, doskonale nadaje się, do przetworzenia go na bazę wiedzy stanowiącą element systemu skorupowego RMSE_ED_WIN, bo charakteryzuje się bardzo niską interakcją z innymi aktami. Opisana baza wiedzy – skonstruowana w celu wyznaczenia kapitału początkowego – jest zbudowana z:

- a) bazy reguł REPOCZ.BED,
- b) bazy modeli MOPOCZ.BED,
- c) bazy ograniczeń OGPOCZ.BED,
- d) bazy rad RAPOCZ.BED,
- e) katalogu plików tekstowych POCZ .

Najistotniejsza reguła określa warunki przyznania bądź odmowy przyznania kapitału początkowego całkowitego oraz kapitału początkowego tylko w części socjalnej.

Przykładowymi regułami są:

reguła (1, "Ubezpieczony uzyska kapitał początkowy", [Udokumentowany okres składkowy i nieskładkowy powyżej 6 m-cy na dzień 31.12.1998", „Wiek ubezpieczonego w dniu 31.12.1998 > 30", „Rok urodzenia ubezpieczonego > 1948", „Zgromadzono dokumenty o stażu pracy", „Ubezpieczony nie jest sędzią, prokuratorem z uprawnieniami", „Zgromadzono dokumenty o zarobkach"]]),

reguła (2, „Ubezpieczony uzyska kapitał początkowy”, [„Udokumentowany co najmniej jeden pełen rok kalendarzowy ubezpieczenia emerytalnego”, „Wiek ubezpieczonego w dniu 31 grudnia 1998 d'30", "Zgromadzono dokumenty o stażu pracy", „Ubezpieczony nie jest sędzią, prokuratorem z uprawnieniami", „Zgromadzono dokumenty o zarobkach"]]),

reguła (11, „Ubezpieczony nie uzyska kapitału początkowego”, [„Ubezpieczony jest sędzią, prokuratorem z uprawnieniami"]]).

Wnioski z powyższych reguł należących do bazy reguł REPOCZ.BED umożliwiają korzystanie z modeli służących do wyznaczania pomocniczych parametrów algorytmu wyznaczenia kapitału podstawowego.

Kolejnym elementem bazy wiedzy dla wyznaczenia kapitału POCZ jest baza modeli MOPOCZ.BED. W jej skład wlicza się modele służące do wyznaczenia i zaokrąglania wskaźników za lata 1962-1998. Wskaźniki te stanowią stosunek rocznego przychodu ubezpieczonego w danym roku do przeciętnego rocznego wynagrodzenia w gospodarce narodowej w tymże roku. Opisywana baza modeli MOPOCZ.BED obejmuje także argumenty odzwierciedlające przeciętne roczne wynagrodzenia w gospodarce narodowej za okres od 1962 do 1998 r., zadeklarowane za pomocą klauzul.

Niederliński przedstawił w następujący sposób argumenty oraz modele:
argument_znany („Przeciętne wynagrodzenie za 1962”, 20160)

...

argument_znany („Przeciętne wynagrodzenie za 1998”, 14873.88)

model (100, „Ubezpieczony uzyska kapitał początkowy”, „Wskaźnik za 1962 rok”, „Przychód ubezpieczonego za 1962 rok”, „/”, „Przeciętne wynagrodzenie za 1962 rok”, 1).

...

model (173, „Ubezpieczony uzyska kapitał początkowy”, „Wskaźnik za 1998 zaokrąglony”, „Wskaźnik za 1998 rok”, „zaokrąglenie_do_N”, „4”, 0).

Powyższa baza wiąże się ściśle z bazą ograniczeń OGPOCZ.BED. Poniżej przykładowy element bazy ograniczeń OGPOCZ.BED:

ograniczenie (6, [„Kapitał początkowy za 10 kolejnych lat”, „Kapitał początkowy za < niż 10 kolejnych lat”, „ Kapitał początkowy za 20 wybranych lat”]).

Mając na uwadze powyższe „ograniczenie”, ubezpieczony może dokonać wyboru jednej z powyższych opcji wyznaczenia kapitału początkowego. Powyższy opis nie uwzględnia bazy rad RADPOCZ.BED oraz plików tekstowych.

Drugim polskim systemem ekspertowym, który należy przedstawić jako przykład szkieletowego systemu ekspertowego jest system stworzony przez T. Żurka i E. Kruka. System ten ma udzielać porad dotyczących podatku rolnego na podstawie ustawy z dnia 15 listopada 1984 (Dz. U. Nr 52 poz. 268 z późn. zm.). Wiedza reprezentowana jest tu za pomocą tzw. trójek „obiekt_atrybut_wartość”. W systemie jest 629 zadeklarowanych atrybutów oraz 445 reguł. Wśród atrybutów można wskazać atrybuty:

a) o charakterze numerycznym – związane z wyliczeniem wysokości podatku,

b) o charakterze symbolicznym wielowartościowym, gdzie użytkownik ma możliwość wyboru jednej albo większej ilości wartości,

c) w formie klasycznej – „prawda”, „nieprawda”.

Poniżej przykładowa reguła należąca do opisanego wyżej systemu:

0135: zasady_składania_deklaracji_i_płacenia_podatku = „jak dla osób fizycznych” if

(posiadacz_samoistny_gruntu = „tak”

I właściciel_gruntu = „tak”

I współwłaściciel_prowadzący_gospodarstwo_rolne_w_całości = „tak”)

& osoba_fizyczna = „tak”

& współwłaściciel = „nie”.

Reprezentowanie wiedzy dotyczącej wszystkich możliwych kombinacji zwolnień i ulg podatkowych z uwzględnieniem wpływającego czasu jest, w ocenie autora systemu, szczególnie trudnym zadaniem.

Przykładowy proces wnioskowania dotyczącego ustalenia, czy dany podmiot jest podatnikiem, zapisano w systemie następująco:

KONKLUZJA: podatnik = „tak”

76: podatnik = „tak” JEŚLI

użytkownik_wieczysty_gruntu = „tak” i

osoba = „tak”;

21* Fakt: użytkownik_wieczysty_gruntu = „tak”

61: osoba = „tak” JEŚLI

osoba_fizyczna = „tak” lub

jednostka_organizacyjna_w_tym_spółka_nie_posiadająca_osobowości_prawnej = „tak” lub

osoba_prawna = „tak”;

Fakt: jednostka_organizacyjna_w_tym_spółka_nie_posiadająca_osobowości_prawnej = „tak”

Rodzaje systemów ekspertowych

Ze względu na rodzaj osiągniętego wyniku systemy ekspertowe dzielimy na systemy podające:

- a) diagnozy,
- b) prognozy,
- c) plany.

Ze względu na sposób realizacji, systemy ekspertowe dzieli się na:

- a) dedykowane (istnieje ich znaczna większość),
- b) szkieletowe (ang. *shells*).

Ze względu na metodę wnioskowania, wyróżnia się systemy z logiką:

- a) dwuwartościową,
- b) wielowartościową,
- c) rozmytą.

Natomiast pod względem rodzaju przetwarzanej informacji systemy te dzielimy na systemy:

- a) z wiedzą pewną (zdeterminowaną),
- b) z wiedzą niepewną, gdzie w przetwarzaniu wykorzystuje się aparat probabilistyczny.

Właściwości systemów ekspertowych

Systemy ekspertowe powinny cechować: uniwersalność, złożoność oraz zdolność przeprowadzenia autoanalizy (Mulawka 1996: 28). Cechy te umożliwiają wysoki poziom ekspertyz i rozwiązanie zadania w optymalnym czasie.

Uniwersalność systemu umożliwia rozwiązywanie różnorodnych zadań z danej dziedziny, nie poprzez stosowanie „gotowych” rozwiązań, ale dzięki obecnym w bazie wiedzy odpowiednim regułom. Uniwersalności systemu nie należy utożsamiać z metasystemem, który byłby zdolny do rozwiązywania zadań z różnych dziedzin wiedzy (Mulawka 1996: 28).

Wyznacznikiem złożoności systemu ekspertowego jest dziedzina, dla której został zaprojektowany. Budowanie systemu ekspertowego może okazać się

nieopłacalne w sytuacji, gdy rozwiązanie problemu może nastąpić na podstawie prostego algorytmu. Złożoność systemu ocenia się między innymi przez liczbę reguł wnioskowania używanych w systemie. Systemy duże zawierają ponad 2000 reguł, małe do 300. Aby ograniczyć trudności przeszukiwania obszernych baz wiedzy w procesie wnioskowania, systemy powinny zawierać nie więcej niż 10 000 reguł.

Zdolność autoanalizy systemu zapewnia użytkownikowi uzasadnienie rozwiązania także na poszczególnych etapach. Użytkownik może prześledzić zaimplementowane rozwiązania dzięki generowaniu przez system tzw. drzewa rozwiązania. W procesie autoanalizy ważną rolę odgrywa tzw. moduł niesprzeczności zapewniający uzyskanie wniosków niesprzecznych z faktami istniejącymi w bazie danych. Poziom objaśnień systemu ekspertowego jest dostosowywany do poziomu odbiorcy.

Zdaniem Stefanowicza (2003: 9) system ekspercki powinien:

- 1/ rozwiązywać zadania słabo ustrukturalizowane, zawierające w swym opisie określenia nieostre, rozmyte,
- 2/ wykorzystywać wiedzę teoretyczną i empiryczną opartą na heurystykach,
- 3/ podejmować próby rozwiązania zadania w warunkach informacji niepełnej i/lub sprzecznej,
- 4/ wyjaśniać użytkownikowi przyczyny (podstawy) wygenerowania danej odpowiedzi („tok rozumowania”),
- 5/ wyjaśniać pojęcia i terminy i/lub podstawy podjęcia danej odpowiedzi,
- 6/ rozwiązywać zadania sprawniej niż człowiek niespecjalizujący się w danej dziedzinie,
- 7/ współpracować z użytkownikiem w języku podobnym do naturalnego, w szczególności specjalistycznego związanego z daną dziedziną,
- 8/ rozwiązywać zadania oparte na wnioskowaniu symbolicznym,
- 9/ nie rozwiązywać zadań wymagających zadań obliczeniowych,
- 10/ mieć zdolności samouzupelniania i wzbogacania zapewniające rozwiązywanie zadań z coraz to szerszego zakresu.

Podstawowymi cechami systemu ekspertowego są (według Niederlińskiego, 2006: 22):

- a) oddzielenie bazy wiedzy od systemu wnioskującego,
- b) wykorzystywanie bazy wiedzy w postaci pliku tekstowego, którego czytanie i modyfikacje mogą być dokonywane przez edytor bazy wiedzy, bez ingerencji w system wnioskujący – plik.exe.

Programy niebędące systemami eksperckimi wiążą w nieczytelny sposób wiedzę dziedzinową oraz sposób rozwiązywania problemu, zamazując granicę między „założeniami” programu a jego „wiedzą”. Do odczytu oraz modyfikowania wiedzy dziedzinowej programu nieekspertowego konieczna jest ingerencja informatyka-specjalisty, który przy tego typu programach staje się niezbyt doskonałym ekspertem dziedzinowym. Systemy ekspertowe dają możliwość skorzystania z wiedzy dziedzinowej w jawnej postaci zgromadzonej w formie pliku tekstowego, co umożliwia weryfikację wiedzy dziedzinowej używanej w danym systemie ekspertowym. Zaletą systemu ekspertowego jest rozdzielenie bazy wiedzy od systemu wnioskującego, bo pozwala użytkownikowi modyfikować i aktualizować bazę wiedzy.

Cechą programów eksperckich podejmujących bądź wspomagających podejmowanie decyzji jest zdolność do ustawicznej aktualizacji wiedzy dziedzinowej, której może dokonywać ekspert dziedzinowy lub użytkownik, bez ingerencji specjalisty-informatyka. Ma to znaczenie w wypadku prawnych systemów ekspertowych, w których prawnik mógłby samodzielnie wprowadzać do bazy wiedzy dane i ich aktualizacje.

Baza wiedzy Niederlińskiego (Niederliński 2006: 24-25) pozwala na dodawanie na każdym etapie jej tworzenia nowych elementów bez naruszenia już istniejących. Narzędzie, jakie stanowią systemy ekspertowe, wymusza wręcz doskonalenie czynności, którym są dedykowane. Korzystanie z systemu ekspertowego znacznie zwiększa wydajność wysoko wykwalifikowanego personelu (np. zastosowanie systemu ekspertowego do oceny wniosków ubezpieczeniowych skróciło czas oceny wniosku z 3 tygodni do 24 godzin).

Wadą systemu ekspertowego jest brak możliwości dostarczenia przez system wyczerpującego, jednoznacznego wyjaśnienia: system potrafi przywołać zastosowaną regułę, która była podstawą wnioskowania, ale nie potrafi wyjaśnić, dlaczego właśnie ta reguła została użyta. System ekspertowy nie potrafi wykorzystywać do generowania nowej wiedzy ani intuicji, ani analogii.

Techniki wytwarzania systemów eksperckich

Narzędziami wspomagającymi wytwarzanie systemów ekspertowych są pakiety oprogramowania, które efektywnie zmniejszają wysiłek przy konstruowaniu aplikacji, nie ma jednak uniwersalnego narzędzia do konstrukcji różnych systemów ekspertowych.

Istniejące narzędzia do budowy systemów ekspertowych można podzielić na grupy:

1/ systemy szkieletowe (*experts system shells*), np. Acquire, ESB, ExSyS, DecisionPro, XpertRule, G2,

2/ programy ułatwiające implementację systemów ekspertowych, np. KEE, EZ-Xpert, Loops, ProGenesis, Aion Execution, Level 5 Object,

3/ języki systemów ekspertowych, np. CLIPS, Flops, SamlItalk, OPS5, Jess,

4/ języki „sztucznej inteligencji”, np. Lisp, Prolog,

5/ języki algorytmiczne, np. C, C+, C #Pascal, Java.

Najefektywniejsze przy tworzeniu systemów ekspertowych jest łączenie różnych narzędzi programowych.

Systemy szkieletowe umożliwiają reprezentację wiedzy w sposób formalny przy użyciu reguł czy też ram, zawierają różnego rodzaju narzędzia umożliwiające strukturalizację bazy wiedzy, posiadają wbudowane mechanizmy wnioskowania, dysponują też, narzędziami do sprawdzania poprawności bazy wiedzy oraz narzędziami do pozyskiwania wiedzy.

Podstawowym językiem dla tworzenia systemów ekspertowych jest język Prolog, stworzony w 1971 r. przez Allana Colmeraurera i Philip'a Rousseła z Uniwersytetu w Marsylii. Jest on językiem programowania w logice. Jedną z jego zalet jest łatwość programowania w odniesieniu do systemów ekspertowych. Znaczenie Prologu wzrosło z chwilą podjęcia w Japonii decyzji o stworzeniu projektu komputerów piątej generacji na podstawie tego języka programowania.

Prolog jest językiem deklaratywnym opartym na rachunku predykatów. W odróżnieniu od języków proceduralnych zawierających sekwencje kroków prowadzących do zamierzonego wyniku, język deklaratywny prowadzi do sformułowania oczekiwanego wyniku.

Programy tworzone w Prologu są również bazami wiedzy. W literaturze zwraca się uwagę na niską efektywność systemu przeszukiwania bazy wiedzy, a także na zbyt ściśle podstawy logiczne, które powodują, iż nie można uzyskać odpowiedzi typu „nie wiem”. Niemożność dowiedzenia pewnego faktu w konsekwencji powoduje, że system przyjmuje go jako fałszywy.

Programowanie w języku Prolog polega nie na tworzeniu algorytmów, jak w tradycyjnych językach, a na opisywaniu faktów i relacji związanych z danym problemem i uznaniu, które relacje są prawdziwe dla szukanego rozwiązania. Prolog jest zbiorem reguł i opisów faktów, które używane są do udzielania odpowiedzi na zapytania. Prolog jest językiem konwersacyjnym; program odpowiada na pytania użytkownika, natomiast użytkownik wprowadza do systemu fakty i reguły.

Reprezentacja wiedzy w systemach ekspertowych

W przypadku systemów ekspertowych bardzo ważna jest reprezentacja wiedzy. Wiedza rozumiana jest jako (Mulawka 1996: 44) zbiór wiadomości z określonej dziedziny. Wiedza jest symbolicznym opisem otaczającego nas świata rzeczywistego charakteryzującym aksjomatyczne i empiryczne relacje, zawierającym procedury, które manipulują tymi relacjami. Wiedza składa się zatem z następujących elementów: opisów (faktów), relacji, procedur.

Istotny jest również sposób organizacji wiedzy (Sosińska-Kalata 1999: 127-173), czyli metoda strukturyzacji wiedzy dziedzinowej. O stopniu strukturyzacji wiedzy decyduje zakres identyfikacji oraz reprezentacja relacji pomiędzy pojęciami reprezentowanymi a wyrażeniami znajdującymi się w Systemie Organizacji Wiedzy.

Modele reprezentacji wiedzy oparte są na logice. Zarówno logika klasyczna, jak i późniejsze logiki umożliwiają w pewien sposób zautomatyzowanie procesu wnioskowania i pozyskiwania wiedzy. W wypadku systemów ekspertowych, w których niezbędna jest elastyczność, odporność na niepewne dane wejściowe i mało wiarygodne fakty wprowadzone do bazy wiedzy, systemy oparte na logice mogą być mniej przydatne niż te oparte na innych systemach reprezentacji wiedzy.

Mulawka (1996: 45) wyróżnia dwa podstawowe typy symbolicznej reprezentacji wiedzy:

1/ proceduralną, polegającą na określeniu zbioru procedur, których działanie reprezentuje wiedzę o dziedzinie,

2/ deklaratywną, polegającą na określeniu zbioru specyficznych dla rozpatrywanej dziedziny faktów, twierdzeń, reguł.

Przy tworzeniu systemu ekspertowego wiedzę reprezentuje się przy wykorzystaniu metod:

1/ bazujących na bezpośrednim zastosowaniu logiki: rachunek zdań, rachunek predykatów,

- 2/ wykorzystujących zapis stwierdzeń,
- 3/ wykorzystujących systemy regułowe (wektory wiedzy),
- 4/ wykorzystujących sieci semantyczne,
- 5/ opartych na tzw. ramach,
- 6/ używających modeli obliczeniowych,
- 7/ metod reprezentacji niesymbolicznej:
 - a) sztuczne sieci neuronowe,
 - b) algorytmy genetyczne.

Metody wnioskowań w systemach ekspertowych

W systemach ekspertowych (Mulawka 1996: 84) mogą wystąpić następujące typy wnioskowania:

- a) w przód (progresywne),
- b) w tył (regresywne),
- c) mieszane,
- d) wykorzystujące wiedzę niepewną (wnioskowania rozmyte).

Jedną z podstawowych cech systemu ekspertowego jest możliwość powiększania przez system posiadanej bazy faktów. Stosując wnioskowanie w przód, system ekspertowy z dostępnych reguł i faktów generuje nowe fakty dopóty, dopóki nie osiągnie z nich postawionego celu (hipotezy). Wnioskowanie wstecz polega na wykazaniu prawdziwości hipotezy głównej na podstawie prawdziwości przesłanek. W przypadku niepewności co do prawdziwości danej przesłanki zostaje ona potraktowana jako nowa hipoteza, którą należy wykazać. W przypadku znalezienia w drodze takiego wnioskowania reguły, której wszystkie przesłanki są prawdziwe, konkluzja również jest prawdziwa. Znaleziona w ten sposób konkluzja stanowi podstawę do przeprowadzania następnych dowodów. Jeżeli stosując powyższą metodę wykaże się prawdziwość wszystkich rozważanych przesłanek, to postawiona hipoteza jest prawdziwa.

Wnioskowanie mieszane (Mulawka 1996: 84) jest połączeniem wnioskowania w przód oraz wnioskowania wstecz. Polega ono na zastosowaniu reguł ogólnych, tzw. metareguł, które składają się na metawiedzę i zawierają wskazania dotyczące priorytetów wyboru pomiędzy poszczególnymi rodzajami wnioskowania. W oparciu o te wskazania system samodzielnie decyduje o wyborze rodzaju wnioskowania i dokonuje odpowiedniego przełączania pomiędzy rodzajami wnioskowania. W celu wykorzystania przez system ekspertowy wnioskowania mieszanego należy wyposażyć system zarówno w bazę wiedzy, jak i w zbiór metareguł. Obydwa te zbiory stanowią wówczas dwie maszyny wnioskujące (progresywną i regresywną). Baza wiedzy dzieli się na dwie części: na reguły związane z wnioskowaniem wstecz oraz reguły związane z wnioskowaniem w przód. Na podstawie wiedzy zapisanej w metaregułach, system – tak długo, jak da się zastosować jakąś regułę – wybiera preferowany sposób wnioskowania.

We wnioskowaniu mieszanym oprócz wczytania przez system bazy wiedzy należy wczytać także zbiór zawierający metareguły. Wiedza zapisana w metaregułach może preferować jeden z rodzajów wnioskowania. Baza wiedzy dzielona jest na dwie części: reguły związane z wnioskowaniem wstecz oraz reguły związane z wnioskowaniem w przód. System – tak długo, jak da się zastosować ja-

każ regułę, korzysta z jednego sposobu wnioskowania. Po każdym cyklu wnioskowania sprawdzane są warunki zapisane w metaregułach.

Systemy ekspertowe wykorzystujące wnioskowanie rozmyte, operują na reprezentacji wiedzy w postaci zbiorów rozmytych.

Pozyskiwanie wiedzy w systemach ekspertowych

Pozyskiwanie wiedzy (*knowlegde aquisition*) stanowi jedno z najistotniejszych działań w tworzeniu systemu ekspertowego i jest związane z samouczeniem się systemu ekspertowego.

Systemy ekspertowe (Mulawka 1996: 98) posiadające zdolność uczenia się potrafią formułować nowe pojęcia, wykrywać nieznanne dotychczas prawidłowości danych, generować reguły decyzyjne, zdobywać wiedzę za pomocą dialogu z użytkownikiem systemu, modyfikować, uogólniać i precyzować dane.

Wśród strategii samouczenia się systemów ekspertowych, zdaniem Mulawki (Mulawka 1996: 98) wyróżnia się:

- a) bezpośrednio zapisywanie wiedzy,
- b) pozyskiwanie wiedzy na bazie instrukcji,
- c) pozyskiwanie wiedzy na bazie analogii,
- d) pozyskiwanie wiedzy na bazie przykładów,
- e) pozyskiwanie wiedzy na bazie obserwacji,
- f) pozyskiwanie wiedzy na bazie obserwacji i grupowania pojęć.

* * *

Przy tworzeniu systemów ekspertowych należy kierować się następującymi zasadami. Po pierwsze, każdy system ekspertowy powinien być tworzony przy współdziałaniu ekspertów z dziedziny informatyki i specjalistów z danej dziedziny, co pozwala na takie odwzorowanie wiedzy dziedzinowej, żeby system mógł wnioskować w sposób przypominający wnioskowanie eksperta. Po drugie, należy dbać o prawdziwość oraz aktualność informacji, na których zostaje zbudowana baza wiedzy danego systemu, oraz o ich ciągłą aktualizację. Osoby odpowiedzialne za administrowanie systemem muszą posiadać szczegółową wiedzę o danym systemie ekspertowym, aby zmiany dokonywane w systemie były zgodne z oryginalnym modelem aplikacji.

System ekspertowy powinien być tak zaprojektowany, aby mógł samodzielnie identyfikować błędy w funkcjonowaniu. Reguły bazy wiedzy powinny być dostępne dla użytkownika (w formie niepozwalającej na wprowadzanie zmian) w celu ewentualnej identyfikacji błędów, wynikających z niejednoznaczności reguł bazy wiedzy.

Istotnym czynnikiem wpływającym na jakość systemu jest zapewnienie odpowiednich środków finansowych na jego utrzymanie. Stosowanie systemu ekspertowego w pierwszej fazie wdrożenia może przyczynić się do wzrostu wydatków związanych na przykład z wydawaniem decyzji. Wzrost ten jednak zostaje skompensowany przez korzyści wynikające ze wzrostu wydajności i skrócenia czasu wydania decyzji. W istocie koszty wprowadzenia i utrzymywania systemu ekspertowego są trudne do przewidzenia. Wprowadzanie częstych

zmian w systemie ekspertowym może wiązać się z kosztami przekraczającymi oszczędności wynikające z jego zastosowania.

Wdrożeniem systemu ekspertowego powinny być zainteresowane najbardziej te jednostki, które wydają relatywnie dużą ilość decyzji. Celowe wydaje się zastosowanie systemów ekspertowych w dziedzinach, w których teorie nie są oparte na ścisłych algorytmach działania i matematyce. Systemy ekspertowe powinny znaleźć zastosowanie w takich dziedzinach jak prawo, zarządzanie, chemia, medycyna, rolnictwo.

Bibliografia

1. Bubnicki Z.: *Wstęp do systemów ekspertowych*. Warszawa, 1990.
2. Jenkins J.: *What can Information Technology do for Law*. „Harvard Journal of Law and Technology” Spring 2008, vol. 21, nr 2.
3. Kwaśnicka H.: *Ewolucyjne projektowanie sieci neuronowych*. Wrocław, 2007.
4. Kwiatkowska A.M.: *Systemy wspomaganie decyzji*. Warszawa, 2007.
5. Kozielski S., Małyśiak B., Kasprowski P., Mrozek (red.). *Bazy danych: Nowe Technologie*. Warszawa, 2007.
6. Negnevitsky M.: *Artificial Intelligence*. Edinburgh, 2002.
7. Niederliński A.: *Prawo, finanse i hybrydowe systemy ekspertowe*. [w:] *Inżyniera Wiedzy i Systemy ekspertowe*. T.2, Wrocław, 2003, s. 395-402.
8. Niederliński A.: *Regulowo-modelowe systemy ekspertowe rmse*. Gliwice, 2006.
9. Niederliński A.: *Automatyzacja wnioskowania prawniczego*. XV Krajowa Konwencja Automatyki. Warszawa, 27-30 czerwca 2005.
10. *Sieci neuronowe w zastosowaniach*. Pod red. Markowskiej-Kaczmar U., Kwaśnickiej H. Wrocław, 2005.
11. Sosińska-Kalata B.: *Modele organizacji wiedzy w systemach wyszukiwania informacji o dokumentach*. Warszawa, 1999.
12. Mulawka J.: *Systemy ekspertowe*. Warszawa, 1996.
13. O' Callaghan A. T.: *A Hybrid legal systems*. 2003.
14. Popple J.: *A Pragmatic legal Expert System*. 1996.
15. Zeng Y., Wang R., Zeleznikow J., Kemp E.: *A Knowledge Representation Model for the Intelligent Retrieval of Legal Cases*. [w:] *International Journal of Law and Information Technology* vol. 15, No. 3.
16. Zeleznikow J.: *An Australian perspective on research and development required for the construction of applied legal decision support systems*. [w:] *Artificial Intelligence and Law* 10, 2002, s. 237- 260.
17. Zeleznikow J., Stranieri A.: *Split_up: An Intelligent Decision Support System which provide advice upon property division following divorce*. [w:] *International Journal of Law and Information Technology*, vol. 6, No. 2.

Summary

The article discusses main features of the expert systems, their elements, and categorization, based on research literature. An expert system structure is presented, referring to the Polish legal systems, as well as knowledge representation and acquisition.