AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

Mjr dr inż. Zbigniew ŚWIĄTNICKI

WOJSKOWE SYSTEMY EKSPERCKIE

Rozprawa habilitacyjna

Biblioteka Główna
Akademii Obrony Narodowej
S/2757
05-002757-002-0

54858

WARSZAWA 1995

AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
54858

mjr dr inż. Zbigniew Świątnicki

WOJSKOWE SYSTEMY EKSPERCKIE

Rozprawa habilitacyjna

WARSZAWA 1995

SPIS TREŚCI

WSTĘP 4

1. ASPEKTY METODOLOGICZNE PRZEPROWADZONYCH BADAŃ 7

1.1. Analiza literatury przedmiotu badań 8
1.2. Cel badań i pisania rozprawy 19
1.3. Problemy badawcze 20
1.4. Hipotezy robocze 20
1.5. Stosowane metody badawcze i przebieg badań 22

2. PERSPEKTYWY STOSOWANIA SYSTEMÓW EKSPERCKICH W SIŁACH ZBROJNYCH 27

2.1. Mierzalne i niemierzalne cechy otoczenia człowieka 28
2.2. Rola ekspertów w badaniach naukowych 36
2.3. Stosowanie systemów eksperckich w sferze obronności 38
2.4. Prognozowanie i programowanie wojskowe z zastosowaniem systemów eksperckich 46
2.5. Systemy eksperckie w przygotowywaniu wojsk do działań bojowych 65
2.6. Systemy eksperckie w dowodzeniu wojskami podczas dynamiki walki 74
2.7. Wymagania wojskowe wobec systemów eksperckich 77

3. STRUKTURA SYSTEMÓW EKSPERCKICH I NARZĘDZIA DO ICH KONSTRUOWANIA 81

3.1. Struktura systemu eksperckiego 81
3.2. Etapy tworzenia systemów eksperckich 87
3.3. Narzędzia wspomagające budowę systemów eksperckich 95

4. REPREZENTACJA WIEDZY W SYSTEMIE EKSPERCKIM I JEJ POZYSKIWANIE 100

4.1. Metody reprezentacji wiedzy 100
4.2. Struktura bazy wiedzy 109
4.3. Pozyskiwanie wiedzy w systemach eksperckich 113
4.3.1. Klasyfikacja metod pozyskiwania wiedzy 115
4.3.2. Wybrane metody pozyskiwania wiedzy 119
4.3.2.1. Manualne metody pozyskiwania wiedzy 119
4.3.2.2. Uczenie maszynowe 122

5. PRZETWARZANIE WIEDZY W SYSTEMACH EKSPERCKICH 125

5.1. Przestrzeń poszukiwań 126

5.2. Wnioskowanie wstępujące 127
5.3. Wnioskowanie zstępujące 128
5.4. Inne strategie wnioskowania 129
5.4.1. Uporządkowane i nieuporządkowane procedury poszukiwania rozwiązań 129
5.4.2. Wnioskowanie w warunkach niepewności i niepełności wiedzy 132

6. PRZYKŁADY WOJSKOWYCH SYSTEMÓW EKSPERCKICH 138

6.1. Systemy eksperckie wojsk lądowych 141
6.2. Systemy eksperckie sił powietrznych 143
6.3. Systemy eksperckie marynarki wojennej 152
6.4. Inne wojskowe systemy eksperckie 156

ZAKOŃCZENIE 161

SŁOWNIK 166

BIBLIOGRAFIA 174

ZAŁĄCZNIKI 176

Załącznik 1 - Oryginalny system ekspercki do wspomagania planowania zapotrzebowania sił zbrojnych na statki powietrzne 177
Załącznik 2 - Oryginalny system ekspercki do wspomagania rozpoznawania statków powietrznych 186
Załącznik 3 - Przykładowe proste systemy eksperckie zakodowane w języku Turbo-Prolog 191

WSTĘP

Starcia zbrojne były nieodłączną cechą stosunków międzyludzkich od zamierzchłej przeszłości. Ich charakter, sposoby prowadzenia oraz stosowane środki walki zmieniały się wraz z rozwojem cywilizacyjnym. Już w czasach walk plemiennych wypierano się z obszarów obfitujących w zwierzynę łowną, a później z urodzajnych ziem. Stopniowo powstawały narody, drogą dobrowolnego łączenia, częściej jednak poprzez podboje i podporządkowanie słabszych przez silniejszych. Walkę o byt, istniejącą w całej przyrodzie, człowiek wzbogacił swoim intelektem. Z biegiem czasu kształtowały się stosunki polityczne i ekonomiczne między narodami. Skonstatowano, że wojna jest przedłużeniem polityki[1]. Cele wojny formułowane są przez polityków. Jeśli uprawiają oni politykę ekspansji, to wcześniej bądź później państwo, w którym sprawują władzę, podejmuje wojny zaborcze. Współczesne państwa demokratyczne głoszą hasła polityki pokoju. ONZ, KBWE oraz porozumienia wiedeńsko-paryskie z lat dziewięćdziesiątych świadczą o zbiorowej woli utrzymania pokoju. Pomimo to, państwa utrzymują siły zbrojne, proporcjonalne do ich wielkości i znaczenia w świecie. Nie ma oznak zamiaru jednostronnego pozbywania się systemów uzbrojenia. Maleją stany sił zbrojnych, ale rosną ich potencjały bojowe. Powodem obniżania liczby posiadanych zestawów uzbrojenia jest skokowy wzrost ich cen[2]. Wobec tego, musi być wykluczone nieracjonalne stosowanie kosztownych systemów uzbrojenia. Na progu XXI wieku błędy

---

[1] Pierwszym, który sformułował definicję wojny był Carl von Clausewitz, w znanym dziele „O wojnie". Inni teoretycy modyfikowali pierwowzór.

[2] Najnowszy myśliwiec amerykański F-22 ma kosztować około 135 milionów dolarów, a wraz z otoczeniem naziemnym - do 150 milionów dolarów. Jeden zestaw rakiet przeciwlotniczych (dywizjon lub bateria) był zwykle równoważny cenowo 4-6 samolotom (generacje równorzędne).

w tworzeniu systemu obronnego państwa i prowadzenia wojny są wręcz niewybaczalne. Jak wiadomo, w przeszłości zdarzały się nierzadko groteskowe błędy militarne [23, s. 15-18; 23-30; 79 i inne]. Nie osiągnęli celów wojny w Wietnamie najpierw Francuzi i potem Amerykanie, a Rosjanie - w Afganistanie i nie wynikły z tego istotne perturbacje w tych państwach. Od wieków dumni synowie Albionu mawiali, że „Anglia przegrywała bitwy, ale nigdy nie przegrała wojny".

Polska cechuje się szczególnym usytuowaniem geograficznym i otoczeniem militarnym. Nie stać nas na eksperymenty i przegrywanie bitew. Decyzje o problemach obronności i obronie nie mogą być przypadkowe. Niestety, decyzje te obejmują liczne problemy niemierzalne. Wobec tego, stosowanie systemów eksperckich w podejmowaniu decyzji i dowodzeniu w ewentualnej wojnie obronnej, a także sterowaniu urządzeniami techniki wojskowej, jest żywotną koniecznością.

Systemy eksperckie (ang. expert systems) są praktycznym wynikiem badań nad sztuczną inteligencją (ang. artificial intelligence) prowadzonych w wielu ośrodkach naukowo-badawczych od lat pięćdziesiątych. Dla zrozumienia ich istoty warto więc uświadomić sobie ich miejsce w całej problematyce badań nad sztuczną inteligencją.

Badania w dziedzinie sztucznej inteligencji prowadzone są w dwóch głównych nurtach: bionicznym i pragmatycznym. Kierunek bioniczny zmierza do poznania funkcji mózgu i ich naśladowania z wykorzystaniem urządzeń technicznych lub substytutów tkanki nerwowej. Prace prowadzone są nad analizą działania neuronów, modelowaniem pojedynczych neuronów i ich współdziałaniem w procesach myślowych. Tak więc, prace prowadzone w tym kierunku mają doprowadzić do stworzenia „sztucznego" mózgu.

Drugi kierunek badań, pragmatyczny, opiera się na innym założeniu. Cel jest taki sam - naśladowanie myślenia, lecz środki inne - nie jest ważna budowa i funkcjonowanie mózgu, ważne są efekty myślenia. Stąd prace w kierunku pragmatycznym abstrahują od analizy procesów myślowych. Ich istotą jest uzyskanie wyników podobnych do działania mózgu, bez naśladowania jego budowy.

Praktycznym wynikiem prac prowadzonych w kierunku pragmatycznym są systemy eksperckie. Ponieważ mają one stosunkowo prostą konstrukcję, a do ich tworzenia i eksploatacji wystarczą środki informatyczne posiadane przez przeciętnych użytkowników, zyskały w ostatnich latach sporą popularność. Popularność tym większą, że te stosunkowo proste systemy informatyczne umożliwiają gromadzenie wiedzy i nabywanie doświadczeń. Nie wszystkie one i nie zawsze zastępują co prawda eksperta, ale zawsze mogą go bardzo efektywnie wspomagać.

Być może niniejsza rozprawa stanie się przyczynkiem do stosowania systemów eksperckich w siłach zbrojnych. Dopóki nie będą stworzone inteligentne systemy dowodzenia, możliwości człowieka potęgować mogą właśnie systemy eksperckie. Przekonanie takie uzasadniają próby zastosowań systemów eksperckich opisywane w nielicznej literaturze oraz ograniczone eksperymenty własne.

1. ASPEKTY METODOLOGICZNE PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

W ciągu szeregu lat autor usiłował zrealizować zamierzenia ambitniejsze i gromadził wiedzę na temat sztucznej inteligencji. Rezultaty badań w tej dziedzinie zostały opisane w wydawnictwie popularnonaukowym[1)] (nakładem „Bellony").

Okazało się, że stworzenie układów inteligentnych, pojmowanych dosłownie, obecnie i w najbliższej przyszłości okaże się prawdopodobnie niewykonalne. Prowadzone od dziesiątków lat doświadczenia z wykorzystaniem do budowy tworów inteligentnych substancji biologicznych nie przynoszą spodziewanych efektów. Większe nadzieje rokuje inny kierunek badań, obejmujących tworzenie mechaniczno-elektronicznych układów inteligentnych (w szczególności „inteligentnych" komputerów). Wprawdzie nie udało się do tej pory zbudować inteligentnych systemów informatycznych, odpowiadających wszystkim kryteriom, jednak tworzony jest z powodzeniem swoisty pomost do pozyskania takich układów - eksperckie systemy komputerowe.

Niestety, wieloletnie starania autora o zezwolenie na prowadzenie badań w którymś z krajów przodujących pod względem rozwoju informatyki, zakończyły się niepowodzeniem. Udział w wielu konferencjach naukowych przyniósł znaczne pożytki naukowe, tym niemniej konferencje te nie stanowiły wystarczającego forum do weryfikowania wiedzy dostępnej w kraju oraz przemyśleń autora. Wobec takiej sytuacji, musiano skorygować pierwotne zamierzenia i prowadzić badania w granicach

---

[1)] Świątnicki W., Świątnicki Z.: Bronie inteligentne, Wydawnictwo „Bellona" 1992

możliwości służbowych, materialnych i intelektualnych autora. Przebieg tych badań przedstawiono w kolejnych punktach niniejszego rozdziału.

1.1. Analiza literatury przedmiotu badań

Systemy eksperckie są klasą systemów informatycznych (obejmują sprzęt i oprogramowanie), które mogą ułatwić na przykład porady, diagnozy, analizę czy konsultacje. Są narzędziem do rozwiązywania problemów, które normalnie wymagają zatrudnienia człowieka-eksperta, profesjonalisty lub specjalisty. O ile tradycyjne systemy informatyczne stosują do rozwiązywania problemów ściśle zdefiniowane procedury (algorytmy), o tyle systemy eksperckie starają się rozwiązywać problemy w specyficznych dyscyplinach, wykorzystując wnioskowanie dedukcyjne. W rezultacie, systemy eksperckie są zdolne do rozwiązywania problemów niestrukturalnych i słabo zdefiniowanych.

Studia nad systemami eksperckimi są jedną z gałęzi badań nad stworzeniem sztucznej inteligencji. Sztuczna inteligencja zajmuje się głównie reprezentacją wiedzy, rozwiązywaniem problemów, uczeniem się, robotyką i budowaniem komputerów, które mogą mówić i rozumieć bardziej naturalne (ludzkie) języki. Jeden z głównych badaczy problematyki systemów eksperckich, Edward Feigenbaum, zdefiniował system ekspercki jako „program komputerowy, który wykorzystuje wiedzę i procedury wnioskowania do rozwiązywania problemów, które są wystarczająco trudne, aby wymagać istotnych ludzkich ekspertyz do ich rozwiązania".

Systemy eksperckie symulują procesy rozwiązywania problemów wykonywane przez człowieka-eksperta. Przy budowie systemu eksperckiego, wiedza jednego lub więcej ekspertów musi być ogarnięta i zmagazynowana w taki sposób,

żeby mogła być wykorzystana do podejmowania decyzji. System ekspercki zawiera obecnie wiedzę jednego lub więcej ludzi-ekspertów i posługuje się tą wiedza przy rozwiązywaniu problemów. Koncepcja taka jest radykalnie inna niż podejście do rozwiązywania problemów w tradycyjnych systemach informatycznych. Inaczej niż tradycyjne systemy, informatyczne systemy eksperckie są w stanie rozwiązywać problemy nawet wtedy, kiedy brak jest informacji wejściowych lub są one niepewne.

System ekspercki ma w swym założeniu naśladowanie rozumowania eksperta w procesie rozwiązywania problemów z określonej dziedziny wiedzy. Ekspert (człowiek) ma pewne specyficzne cechy, które predestynują go do tego miana [12]:

- uczy się, wykorzystując zdobyte doświadczenia,
- modyfikuje zbiór swoich pojęć,
- kieruje się zdrowym rozsądkiem (nawet wbrew pozorom),
- ma intuicję,
- może rozumować na podstawie analogii.

Te cechy chcemy „zaszczepić" systemowi eksperckiemu. Zaimplementowanie takich właściwości w systemie odróżnia go od innych, „klasycznych" systemów informatycznych. Aktywność w zdobywaniu wiedzy jest cechą jedynie człowieka. Jak do tej pory, systemy informatyczne nie mają takiej właściwości. W przypadku wojskowych systemów eksperckich jest to tym bardziej ważne, że zmiany zachodzące w strategicznych założeniach obronnych, organizacji wojsk, a szczególnie taktyce działań i wykorzystania środków bojowych są tak szybkie, że opanowanie tej wiedzy w krótkim czasie przez jednego człowieka-eksperta jest omal niemożliwe, a przecież potrzebnych jest armii wielu takich ludzi. Zastąpienie ich wiedzy przez systemy informatyczne, możliwe do obsługi nawet przez dość nisko kwalifikowany personel oddałoby nieocenione usługi sprawie obronności.

„Zdrowy rozsądek" jest pojęciem mało precyzyjnym, tak samo zresztą jak cała problematyka modelowania myślenia ludzkiego. Zasady zdroworozsądkowe są trudne do werbalizacji (jasnego przedstawienia za pomocą słów), a co dopiero formalizacji (zapisu za pomocą wzorów czy przedstawienia z wykorzystaniem modeli). Jako przykład takiej zasady można podać: „miej ograniczone zaufanie do zaobserwowanych faktów - mogą być one czasami pozorami"[2)]. Na ogół klasyczne systemy informatyczne, budowane w oparciu o dokładne modele matematyczne, nie uwzględniają takich warunków działania. System ekspercki mający zdolność do krytycznej oceny faktów będzie miał w tym przypadku wyraźną przewagę.

Niezwykle ważnym problemem przy budowie systemów eksperckich jest modelowanie intuicji. Niewiele jest zapewne dziedzin działalności ludzkiej, gdzie tak jak w przypadku działań militarnych intuicja ma zasadnicze znaczenie dla powodzenia przedsięwzięć. Przewidzenie, na przykład, zamiaru przeciwnika (z wykorzystaniem danych z rozpoznania, a czasami i bez nich) świadczy o wysokiej intuicji. Kojarzenie więc nieuchwytnych faktów (czasami wręcz bez konkretnych podstaw) jest dowodem wysokiego poziomu procesów myślowych. Naśladowanie tego rodzaju rozumowania ludzkiego z wykorzystaniem systemu informatycznego jest stąd szczególnie skomplikowane.

Tworzenie systemu eksperckiego wymaga ścisłej współpracy projektanta i eksperta. Nie jest to wcale łatwy problem. Na szczęście eksperci mają różny stosunek do problemu budowy systemów eksperckich. Jak podaje Keller [19], mogą być:

- chętni i zdolni,
- niezainteresowani,
- niekompetentni,

[2)] Na przykład wszelkie makiety sprzętu stosowane dla zmylenia przeciwnika są tego rodzaju pozorami.

- wrodzy.

Oczywiście, każdemu inżynierowi wiedzy należy życzyć spotykania tylko tych pierwszych ekspertów. Nie zawsze ma się jednak tyle szczęścia. Jeżeli eksperci, z którymi inżynier wiedzy ma do czynienia są chętni i zdolni, to nawet mimo ich niepełnej kompetencji można uzyskać od nich wiele istotnych wiadomości na temat faktów istniejących w określonej dziedzinie wiedzy (na przykład normy taktyczne nie muszą być znane ekspertowi, ale na ogół wie on, w jakim dokumencie można je odnaleźć). Wiedza na temat rozumowania (rozwiązywania problemów) jest na ogół trudniejsza do pozyskania od eksperta i nawet ekspert chętny (ale niekompetentny) niewiele wniesie do wiedzy inżyniera na ten temat.

Ekspert niezainteresowany, ale kompetentny jest bardzo cennym źródłem wiedzy dla inżyniera wiedzy. Odpowiednio stawiając mu pytania i nie przeciążając uzyskiwaniem drugorzędnych informacji (które zazwyczaj można pozyskać od mniej kompetentnych ekspertów lub, na przykład, ze źródeł pisanych), można nabyć wielu bardzo istotnych wiadomości, w szczególności dotyczących sposobów rozwiązywania problemów (wiedza o faktach może być pozyskana w inny sposób).

Niestety, nie znaleziono sposobu na eliminowanie ekspertów wrogo nastawionych do problemu modelowania myślenia ludzkiego, a w tym zastępowanie ich w rozwiązywaniu przynajmniej niektórych problemów. Takich ekspertów należy unikać w procesie pozyskiwania wiedzy do budowy systemu eksperckiego - z obawy przed utratą swego znaczenia mogą nawet wprowadzić inżyniera wiedzy w błąd, chcąc skompromitować projektowany system ekspercki.

Wobec powyższych problemów z pozyskiwaniem wiedzy od ekspertów, inżynier wiedzy musi być osobą odpowiednio wykształconą i doświadczoną. Według Feigenbauma [12], wymaga się, aby miał:

- doświadczenie w zakresie sprzętu komputerowego i oprogramowania,

- doświadczenie w programowaniu komputerów,

- szeroką wiedzę ogólną,

- doświadczenie psychologiczne,

- elementarne pojęcie o dziedzinie wiedzy, dla której przeznaczony jest projektowany system.

Takie cechy oraz wiedza z zakresu inżynierii systemów eksperckich umożliwią inżynierowi wiedzy konstruowanie sprawnych, użytecznych narzędzi.

Proste systemy eksperckie już od pewnego czasu funkcjonują w naszym otoczeniu. Pojawiły się niemal niezauważalnie. Są już jednak na tyle powszechnie stosowane, że warto zapoznać się z podstawami ich budowy. Zacznijmy jednak od sfer życia, w jakich możemy spotkać systemy eksperckie.

Istnieje co prawda wiele kryteriów klasyfikacji systemów eksperckich, najczęściej jednak rozróżnienia dokonuje się na podstawie dziedziny zastosowań. W odniesieniu do systemów o przeznaczeniu cywilnym wyróżnia się:

a) systemy kontrolne - umożliwiające kontrolowanie przebiegu różnych złożonych procesów z wykorzystaniem czujników służących, na przykład, do pomiaru temperatury, ciśnienia czy liczności,

b) systemy diagnostyczne - służące do wykrywania defektów czy lokalizowania źródeł awarii (na przykład kontrola jakości czy diagnostyka medyczna),

c) systemy naprawcze - mające szersze przeznaczenie niż systemy diagnostyczne czy kontrolne. Mogą nie tylko ustalać przyczyny, ale również podejmować działania naprawcze (wykorzystując stosowne elementy wykonawcze),

d) systemy projektujące - wspomagające projektowanie różnych obiektów, zgodnie z zadaną specyfikacją i ograniczeniami (może to dotyczyć obiektów urbanistycznych, układów elektronicznych czy systemów komputerowych),

e) systemy instruktażowe - służące do realizacji szkolenia z wykorzystaniem komputera. System ekspercki tego typu pomaga zwykle ocenić podstawową wiedzę studenta i opracować program nauczania specjalnie dostosowany do jego poziomu i potrzeb,

f) systemy planistyczne - służące do opracowywania planów działania pod kątem realizacji postawionych celów (na przykład szeregowanie zadań, ustalanie strategii rozwiązywania zadań),

g) systemy prognostyczne - wspomagające przewidywanie skutków zachodzących procesów. Analizują potencjalne możliwości, przewidują zmiany mogące zajść w wyniku modyfikacji warunków zewnętrznych lub parametrów procesów. Najpopularniejszym zastosowaniem tego typu systemów jest prognozowanie pogody.

Burzliwy rozwój systemów eksperckich uniemożliwia przedstawienie ich wszelkich możliwych zastosowań (klas systemów). Przedstawione powyżej grupy są najszersze, mają największe znaczenie praktyczne.

Aczkolwiek wojskowe systemy eksperckie mogą mieć wiele zastosowań podobnych jak w przedstawionej wyżej klasyfikacji, to jednak można dla nich zaproponować nieco inną klasyfikację. Można wśród nich wyróżnić:

a) systemy sterujące różnymi rodzajami sprzętu wojskowego (z udziałem człowieka lub bez jego obecności) - na przykład system ekspercki sterujący pojazdem ALV, system sprzężenia głosowego (VIS) dla samolotu F-16;

b) systemy rozpoznawcze, wspomagające działalność służb rozpoznawczych różnych rodzajów sił zbrojnych i wojsk - na przykład system rozpoznawania samolotów na podstawie obserwacji wizualnych (AIRID), system wspomagania analizy danych dotyczących stanowisk dowodzenia i węzłów łączności przeciwnika (DART), system rozpoznawania łączności radiowej przeciwnika (HANNIBAL), system wspomagający

określanie celu rejsu i zadań jednostki pływającej przeciwnika (OCEAN SURVEILLANCE);

c) systemy wspomagania dowodzenia - na przykład system kierowania walką dla potrzeb centrum dowodzenia floty (FCCBMP) czy system wspomagania dowodzenia na okręcie wojennym (CAT);

d) systemy wspomagające ocenę sytuacji na polu walki - na przykład ADEPT, AMUID, ANALIST;

e) systemy planistyczno-prognostyczne - do modelowania walki wojsk lądowych (TWIRL), modelowania działań środków napadu powietrznego (SWIRL), planowania niszczenia obiektów na lotniskach przeciwnika (TATR),

f) systemy wspomagające szkolenie - na przykład do wspomagania prowadzenia gier wojennych (SCENARIO-AGENT),

g) systemy logistyczne - wspomagające załadunek sprzętu na pokłady samolotów transportowych (AALPS), wspomagające tworzenie map (ACES);

h) systemy wspomagające diagnostykę uszkodzeń sprzętu - na przykład CITS przeznaczony dla bombowca B-1B.

Powyżej wymienione systemy eksperckie są, na ogół, systemami dedykowanymi (specjalnie zaprogramowanymi do wykonywania ustalonych zadań). Oprócz nich istnieje druga klasa systemów eksperckich - systemy szkieletowe (wyposażone we wszystkie elementy z wyjątkiem bazy wiedzy - por. rozdział 3.), umożliwiające tworzenie różnych aplikacji.

System EXSYS [16] jest jednym z wielu dostępnych na rynku szkieletowych systemów eksperckich. Prezentuje się korzystnie na tle innych tej klasy systemów (por. tabele 1.1. i 1.2.), stąd został wybrany do zaprezentowania w tym miejscu. Inne tego typu produkty mają zbliżone właściwości użytkowe (choć mogą znacznie różnić się charakterystykami).

Szkieletowy system ekspercki EXSYS występuje w trzech zasadniczych odmianach: standardowa, profesjonalna, demonstracyjna (pakiet demonstracyjny wersji standardowej).

Wersje standardowa i profesjonalna mają następujące podstawowe właściwości:

- regułowa reprezentacja wiedzy,
- wstępujący i zstępujący mechanizm wnioskowania,
- możliwość wykorzystania współczynników wiarygodności reguł (wnioskowanie w warunkach niepewności wiedzy),
- możliwość uzyskania wyjaśnień o sposobie wnioskowania w dowolnym momencie działania systemu,
- możliwość dołączenia zewnętrznych modułów pozyskiwania wiedzy (również wykorzystujących ramową metodę reprezentacji wiedzy) oraz innych modułów obliczeniowych,
- wbudowany generator raportów i język komend,
- możliwość korzystania ze zmiennych numerycznych i łańcuchowych,
- wbudowane funkcje matematyczne,
- specjalny mechanizm reorganizacji bazy wiedzy (ang. blackboarding),
- system EXSYS jest zaimplementowany w języku C.

Profesjonalna wersja systemu EXSYS ma dodatkowe udogodnienia:

- rozwinięty (w stosunku do wersji standardowej) język komend,
- możliwość użycia kompilatora reguł do uzupełniania bazy wiedzy i transformacji baz reguł z innych szkieletowych systemów eksperckich do środowiska EXSYS,
- rozwinięty interfejs użytkownika,
- możliwość wprowadzenia własnych zależności określających współczynniki wiarygodności reguł,
- bezpośredni dostęp do zbiorów przygotowanych w formacie DBase.

System szkieletowy EXSYS wykorzystuje regułową metodę reprezentacji wiedzy. Reguły mają następujący format:

IF (warunki)

THEN (warunki lub konkluzje)

ELSE (warunki lub konkluzje)

NOTE (komentarz dla użytkownika)

REFERENCES (odwołania - na życzenie użytkownika).

Wnioskowanie w systemie EXSYS może odbywać się w czterech trybach:

- wnioskowanie zstępujące (ang. backward chaining),
- wnioskowanie wstępujące (ang. forward chaining),
- wnioskowanie bez powrotów (ang. nobackward option),
- ostatni krok (ang. finalpass option).

Wnioskowanie zstępujące jest podstawowym trybem poszukiwania rozwiązań. Użytkownik nie musi specjalnie deklarować jego użycia. Proces poszukiwania rozwiązań odbywa się do momentu sprawdzenia wszystkich konkluzji (wniosków końcowych).

Wnioskowanie wstępujące nie różni się od klasycznego w tym przypadku sposobu postępowania (por. punkt 5.2.). Wymaga jedynie wyraźnego zadeklarowania tego trybu poszukiwania rozwiązań.

Ciekawym narzędziem jest wnioskowanie bez powrotów. Założeniem tego sposobu poszukiwania rozwiązań jest nieużywanie wnioskowania zstępującego. Punktem wyjściowym postępowania jest reguła zawierająca końcową konkluzję. Ponieważ mechanizm wnioskowania zstępującego jest wyłączony, mogą być zadawane użytkownikowi przez system pytania i stawiane żądania wprowadzenia dodatkowych informacji. Jeżeli zostanie znalezione uzasadnienie dla rozpatrywanej konkluzji, to brane są pod uwagę następne, aż do wyczerpania zbioru konkluzji. Użycie opcji bez powrotu jest skojarzone z działaniem mechanizmu wnioskowania wstępującego.

W systemie EXSYS funkcjonuje mechanizm weryfikacji reguł. Nosi on nazwę Finalpass Option. Wykorzystywany on może być na zakończenie sesji wnioskowania. Służy do testowania reguł wykorzystywanych we wnioskowaniu. Mogą one być w wyniku tego postępowania uaktywnione lub usunięte.

Ciekawym mechanizmem reorganizacji bazy wiedzy w systemie EXSYS jest tak zwany blackboarding. Umożliwia stosunkowo łatwy podział dużej bazy wiedzy na mniejsze części. Daje to w efekcie rozdzielenie napływu strumieni wiedzy z różnych źródeł do jednego systemu eksperckiego. Trzeba zauważyć, że blackboarding nie jest narzędziem do budowy wielu rozdzielnych baz wiedzy. Narzędzie to udostępnia specjalny moduł łączący rozdzielone bazy wiedzy.

Tabela 1.1.

Czas poszukiwania rozwiązań dla różnych mieszanek testowych [w sekundach]

Szkieletowy system ekspercki	**Typ mieszanki** liczba reguł x liczba przesłanek w regule			
	S 100 x 1	**K** 100 x 2	**K** 120 x 20	**D** 100 x 2
Arity Compiler	71,0	NM[3)]	17,4	7,3
Arity Interpreter	71,0	NM	16,5	6,6
EXSYS Standard	1,7	0,3	0,4	0,6
EXSYS Professional	1,9	0,5	0,6	0,8
Guru	20,2	10,5	10,6	10,5
Level 5	6,2	NM	2,6	1,8
M.1	20,3	3,6	3,7	2,2
Nexpert	NM	9,3	7,3	NM
PC Easy	58,5	9,6	10,7	9,2
PC-Plus	94,8	38,5	34,0	4,9
VP-Expert	27,7	NM	NM	7,9

Dla zilustrowania możliwości szkieletowego systemu eksperckiego EXSYS zamieszczone zostały dwie tabele (1.1. i 1.2.), zawierające porównanie z innymi

[3)] NM - skrót „nie mierzone".

komercyjnymi systemami szkieletowymi. W pierwszej z nich zawarto czasy poszukiwania rozwiązań uzyskane z zastosowaniem następujących mieszanek testowych:

- sekwencyjne (S) (w jednej regule jedna przesłanka),
- koniunktywne (K) (w jednej regule dwie lub więcej przesłanek połączonych spójnikiem logicznym „i"),
- dysjunktywne (D) (w jednej regule dwie lub więcej przesłanek połączonych spójnikiem „lub").

Z przedstawionych zestawień można wywnioskować, że wersja standardowa systemu EXSYS ma największą szybkość realizacji poszukiwań, niezależnie od zastosowanej mieszanki testowej. Największą bazę wiedzy można stworzyć wykorzystując profesjonalną wersję systemu EXSYS, choć nie osiąga ona największej szybkości przetwarzania reguł.

Tabela 1.2.

Dopuszczalna wielkość sekwencyjnej bazy wiedzy

Szkieletowy system ekspercki	**Liczba reguł**	**Czas wykonania [w sekundach]**	**Szybkość działania [reguł/s]**
Arity Compiler	70	9,3	7,5
Arity Interpreter	70	8,8	8,0
EXSYS Standard	397	11,3	35,2
EXSYS Professional	500	26,4	18,9
Guru	188	5,7	33,0
Level 5	97	1,3	77,6
M.1	264	27,4	9,6
Nexpert	NM	NM	NM
PC Easy	211	22,9	9,2
PC-Plus	255	45,5	4,9
VP-Expert	17	2,1	7,9

Literatura dotycząca ogólnych zagadnień projektowania i budowy systemów eksperckich nie jest zbyt szeroka. Przeważają pozycje angielskojęzyczne [1, 12, 15, 17, 19, 20, 31, 32, 34]. Piśmiennictwo polskojęzyczne, traktujące bardziej kompleksowo

problemy systemów eksperckich, jest uboższe [5, 9, 10]. Autor, w zakresie zagadnień uniwersalnych, posiłkował się w dużej mierze publikacją „Introduction to Expert Systems" [16]. Problematyka wojskowych systemów eksperckich, jak dotychczas, nie znalazła odzwierciedlenia w formie kompleksowej publikacji. Autor dotarł w zasadzie jedynie do informacji w periodykach [na przykład 4, 14].

1.2. Cel badań i pisania rozprawy

Systemy eksperckie, wcześniej zdefiniowane, stanowią nadal nową myśl w rozwoju informatyki. Istnieje niezbyt obszerna literatura na ich temat. Niedostępne są prawie publikacje o wojskowych systemach eksperckich.

W związku z powyższym, autor wytyczył sobie zadanie opracowania założeń wojskowych systemów eksperckich, na miarę polskich możliwości, z konieczności ograniczając stawiane cele. Ograniczenie to polega na poniechaniu tworzenia koncepcji nowych komputerów i skupieniu się na opracowaniu założeń projektowych i programowych wojskowych systemów eksperckich (przydatnych dla użytkowników posiadających standardowe komputery).

Tak więc, w wyniku badań sformułowano postulaty dotyczące tworzenia wojskowych systemów eksperckich. Miano przy tym na względzie nie hipotetyczny sprzęt komputerowy, lecz będący obecnie w użytkowaniu sił zbrojnych lub mogący pojawić się w najbliższej przyszłości.

W rezultacie tak sformułowanego celu pisania rozprawy, przedstawiono aspekty teoretyczne i praktyczne stosowania wojskowych systemów eksperckich w działalności dowództw i sztabów sił zbrojnych.

1.3. Problemy badawcze

Po wnikliwej analizie potrzeb i możliwości w zakresie badań nad wojskowymi systemami eksperckimi, sformułowano problemy w formie pytań:

1. Co jest istotą systemów eksperckich jako narzędzi do rozwiązywania problemów ogólnych?

2. Jakie specyficzne cechy powinny mieć wojskowe systemy eksperckie?

3. Czy systemy eksperckie mogą być stosowane z wykorzystaniem dostępnego w Polsce sprzętu komputerowego?

4. Jakie zadania powinny być rozwiązywane za pomocą wojskowych systemów eksperckich?

5. Jaką strukturę powinny mieć wojskowe systemy eksperckie i jak muszą być konstruowane?

6. Jaka powinna być idea funkcjonowania systemów eksperckich?

Powyższe problemy badawcze sformułowano we wczesnej fazie badań. Każdy z nich zawiera szereg podproblemów, które w toku badań starano się poznawać i weryfikować.

1.4. Hipotezy robocze

Analiza niezbyt licznej literatury przedmiotu stanowiła inspirację do sformułowania wstępnych hipotez, ukierunkowujących proces badań.

Szczególnie inspirującymi, ale i też sprawiającymi duże trudności w toku weryfikacji, były następujące hipotezy:

1. Oprogramowanie wojskowych systemów eksperckich jest autonomicznym elementem, który może być wykorzystywany z użyciem różnych generacji sprzętu komputerowego. Nie oznacza to jednak, że poziom jakościowy komputerów nie ma wpływu na uzyskiwane wyniki. Rezultaty rozwiązywania zadań będą tym lepsze, im wyższy będzie poziom jakościowy sprzętu komputerowego;

2. Zakładano, że podstawą systemów eksperckich jest baza wiedzy (w tym metody jej reprezentacji i pozyskiwania). O przeznaczeniu i możliwym zakresie wykorzystywania systemu eksperckiego decyduje zawartość bazy wiedzy systemu oraz mechanizmy jej przetwarzania. Założono, że obecnie i w najbliższej przyszłości nie jest możliwe stworzenie uniwersalnych systemów eksperckich, przydatnych w dowolnej sferze działalności ludzkiej. Wobec tego spodziewano się, że wojskowe systemy eksperckie muszą być odpowiednio specjalizowane (dedykowane);

3. Idea systemów eksperckich dała podstawy do przypuszczenia o szerokich możliwościach ich stosowania. Tym niemniej założono, że systemy takie będą szczególnie przydatne do rozwiązywania problemów, przede wszystkim „niemierzalnych". Stwierdzenie to miało szczególne znaczenie przy weryfikowaniu dziedzin zastosowania wojskowych systemów eksperckich. Zakładano, że będą one niezastąpionym narzędziem w podejmowaniu decyzji o prowadzeniu walki i operacji wojskowych oraz w programowaniu działań bojowych.

Powyższe hipotezy weryfikowano, posługując się metodami badań opisanymi poniżej.

1.5. Wykorzystywane metody badawcze i przebieg badań

Dobór metod badawczych nie zależał od woli autora. Determinował je temat badań oraz możliwy obszar i zakres ich prowadzenia. W punkcie wyjściowym dysponowano komputerami klasy IBM PC i standardowymi urządzeniami zewnętrznymi[4] oraz oszczędnymi informacjami o idei tworzenia systemów eksperckich.

Ze zrozumiałych względów dążono do wykorzystywania szczególnie analizy literatury przedmiotu, co nie było niczym nowym, a wypełnieniem elementarnego obowiązku stawianego we wszelkich badaniach. Relację o źródłach literaturowych i czerpanych z nich inspiracjach zawarto w punkcie 1.1.

Poprzez analizę literatury wytworzono sobie ogólną koncepcję wojskowych systemów eksperckich (co do zasad ich tworzenia i wykorzystywania). Miano do wyboru jedną z dwóch dróg działania. Pierwszą, polegającą na tworzeniu wyabstrahowanych z rzeczywistości systemów eksperckich, w których stosowano by niedostępne szerzej w Polsce komputery[5], zupełnie inne od eksploatowanych w siłach zbrojnych. Przyjęcie założenia o możliwości wykorzystania tego rodzaju sprzętu dałoby podstawę do prowadzenia rozważań o imponujących właściwościach wojskowych systemów eksperckich, ale tylko w sferze postulatów.

W badaniach obrano inną drogę, mniej futurystyczną, ale zapewniającą osiągnięcie wyników praktycznych już w najbliższej perspektywie czasu. Oznaczało to jednak pogodzenie się z mniej spektakularnymi rezultatami końcowymi badań. Tę skromniejszą koncepcję opracowywano pod względem teoretycznym i praktycznym,

---

[4] Drukarka, modem, ploter, digitizer.

[5] Wyposażone w możliwość komunikowania się z użytkownikiem za pomocą głosu, wyróżniające się masowymi pamięciami skojarzeniowymi, zawierające procesory przeznaczone do przetwarzania informacji symbolicznych.

wykorzystując do tego celu intuicję ekspertów, którymi byli specjaliści w dziedzinie informatyki oraz sztuki wojennej. W badaniach metodą eksperta (intuicji) problemów informatycznych wykorzystywano przede wszystkim środowisko oficerów Wojskowej Akademii Technicznej, a także inne ośrodki skupiające profesjonalistów (na przykład Centrum Informatyki Akademii Obrony Narodowej). W badaniach problemów sztuki wojennej (rozwiązywania zadań dowódczo-sztabowych) służyły pomocą głównie dwie uczelnie: Akademia Obrony Narodowej i Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych. Ze wskazanych instytucji dydaktyczno-naukowych wykorzystywano liczne zespoły specjalistów z zakresu badanej problematyki, stosując znane narzędzia w postaci ankiet (tabela 1.3.) i wywiadów.

Tabela 1.3.

Preferencje ekspertów rekomendujących różne klasy systemów eksperckich dla sił zbrojnych

Znaczenie dla sił zbrojnych	**Klasa systemu**							
	Wspomaganie dowodzenia	Wspomaganie oceny sytuacji	Rozpoznanie	Planowanie i prognozowanie	Sterowanie systemami uzbrojenia	Diagnostyka	Logistyka	Wspomaganie szkolenia
Bardzo duże	14	21	10	9	19	4	-	10
Duże	25	18	21	13	14	31	12	21
Przeciętne	9	10	12	21	12	10	26	17
Małe	5	4	6	7	8	8	12	5
Nieistotne	-	-	4	3	-	-	3	-

Spośród ponad dwudziestu konferencji naukowych, krajowych i zagranicznych, w których autor uczestniczył aktywnie lub był współorganizatorem, znaczna ich część wzbogacała badania w wiedzę o ogólnych prawidłowościach tworzenia systemów eksperckich. Zdecydowana większość tych konferencji przeprowadzana była

w środowiskach cywilnych i wobec tego nie mogły one dawać prostych odniesień do wojskowych systemów eksperckich. Tę swoistą lukę autor starał się wypełniać podejmując liczne próby tworzenia najpierw prostych, a później bardziej złożonych prototypów systemów eksperckich. Weryfikacja założeń następowała niekiedy z wykorzystaniem symulacji komputerowej. Pierwsze modele były często zupełnie nieudane, ale poza zniechęceniem wnosiły wiedzę o domniemanych przyczynach niepowodzeń. Stopniowo eliminowano ułomności i po dłuższych eksperymentach, do których autor angażował uzdolnionych pracowników dydaktyczno-naukowych Wojskowej Akademii Technicznej, a nawet studentów, zdołano osiągnąć liczące się wyniki w tworzeniu funkcjonalnych wojskowych systemów eksperckich. Przykładami są opisy zawarte w załącznikach 1 i 2. Autor nie przecenia wartości wskazanych przykładów wojskowych systemów eksperckich, ale sądzi, że stanowią one podstawę do rozwijania pierwotnych idei.

Tworząc eksperymentalne modele wojskowych systemów eksperckich (często niszczone jako nieprzydatne), autor zauważył, że tworzenie kolejnej wersji odbywa się z autokorektą wcześniej popełnionych błędów[6)]. Niestety prawidłowość ta pozostanie cechą charakterystyczną przy tworzeniu wojskowych systemów eksperckich. Wiedza człowieka i jego myślenie nieustannie wzbogacają się. Na szczęście, nigdy nie kontentujemy się poziomem osiągniętej wiedzy i umiejętności w żadnej dziedzinie. Pomny tej prawidłowości rozwoju intelektu człowieka, autor nie widział możliwości stworzenia uniwersalnego modelu wojskowego systemu eksperckiego (rodzaju systemu szkieletowego), który mógłby zaproponować do rozwiązywania wszelkich problemów natury wojskowej.

[6)] Błędy nie musiały być wynikiem ułomności autora, ale często spowodowane były nieprecyzyjnością wiedzy o problemie uzyskiwanej od ekspertów (stan ten niestety w przypadku systemów eksperckich udaje się wykryć najczęściej dopiero po stworzeniu prototypu systemu).

Dołączone do rozprawy opisy przykładowych systemów eksperckich (załączniki 1-3), w zasadzie dość prostych, dostarczyły interesujących wyników badań zgromadzonych w toku obserwacji. Otóż (w przypadku systemu eksperckiego do wspomagania planowania zapotrzebowania sił zbrojnych na statki powietrzne), pozornie proste dane ankietowe uzyskane od ekspertów, były analizowane przez system stosunkowo długi czas. Wbrew oczekiwaniom, nawet wykorzystanie wiedzy ludzi nie zapewnia ominięcia ogromu jałowych obliczeń, a „intuicyjne" znajdowanie najkrótszej drogi do rozwiązań jest nadal nie osiągniętym ideałem.

Opisanie powyższych obserwacji (ograniczone zastosowanie tej metody badań) okazało się wystarczające do wyciągnięcia wniosku, że na obecnym etapie rozwoju oprogramowania i sprzętu komputerowego zdołano uczynić pierwszy liczący się krok w tworzeniu wojskowych systemów eksperckich. Polega on na połączeniu intelektu ekspertów z możliwościami przetwarzania ich wiedzy za pomocą posiadanych komputerów. Nie udaje się w pełni osiągnąć eliminowania czynności ludzi i sprzętu na tyle, by wyniki rozwiązywania złożonych problemów były uzyskiwane bez liczącej się zwłoki czasu.

Powyższy pesymizm w samoocenie uzyskanych rezultatów badań nie rozciąga się na rozwiązywanie rutynowych zadań ze sfery dowódczo-sztabowej. W tej sferze istnieje wiele zagadnień sformalizowanych, a zadania rozwiązywane za pomocą systemów eksperckich dotyczą tylko czynników zmiennych.

Związek taktyczny lub operacyjny wojsk liczy od kilkunastu do kilkudziesięciu tysięcy żołnierzy, dziesiątki tysięcy pojazdów i innych środków bojowych. Nie pojawiają się one w ciągu kilku godzin, a nawet dni. Już na etapie tworzenia wojskowych systemów eksperckich będzie możliwe wprowadzanie informacji do bazy wiedzy. W toku walki lub operacji konieczne będą tylko uzupełnienia i zmiany. Wobec tego, spodziewany czas reakcji wojskowego systemu eksperckiego opracowanego dla

konkretnego szczebla dowodzenia, dla określonej struktury organizacyjnej wojsk, będzie dostatecznie krótki, aby spełnić oczekiwania dowódców.

Autor zamierzał podjąć próbę zaprojektowania i zbudowania dedykowanego systemu eksperckiego dla wybranej struktury wojsk. Okazało się jednak, że przedsięwzięcie to przerasta nie tylko możliwości intelektualne i fizyczne jednego człowieka, ale przede wszystkim wykracza poza kompetencje służbowe i wymaga udziału znacznego zespołu ludzkiego. Warunków takich autor nie posiadał.

Zgodnie z zamierzonym celem badań i pisania rozprawy, ich wyniki zostały przedstawione w kolejnych rozdziałach w postaci instrukcyjnego opisu zasad tworzenia i podanych przykładów wojskowych systemów eksperckich. Autor rozważał celowość uzasadniania poszczególnych zagadnień, ujętych w sposób „instrukcyjny". Pierwsza edycja opisu wyników badań (zawierająca właśnie uzasadnienia i dowody) czyniła relację nieprzejrzystą i jej ewentualne pozostawienie rodziło obawy co do komunikatywności. Autor pragnął, aby jego badania (zamierzone w granicach istniejących możliwości) przyniosły efekty mające postać użytkową. Skoro tak, to uznano, że rozważania czysto teoretyczne przesądziłyby o rozminięciu się z wytyczonym celem. Zaoszczędzono ponadto znaczną liczbę zwyczajowych przypisów do sformułowań zawartych w tekście poszczególnych rozdziałów rozprawy, załączając do niej skrócony słownik pojęć specjalistycznych.

2. PERSPEKTYWY STOSOWANIA SYSTEMÓW EKSPERCKICH W SIŁACH ZBROJNYCH

Człowiek w ciągu tysięcy lat swego rozwoju cywilizacyjnego zgromadził ogromną wiedzę o otaczającej go rzeczywistości. Najpierw wiedzę tę utrwalano za pomocą przekazów ustnych i znaków, później za pomocą różnych systemów pisma. Stopniowo powstawały biblioteki liczące do kilkuset tysięcy woluminów. Obecnie największe komputerowe bazy danych mogą zawierać zbiory danych, zapisywane niegdyś w milionach książek. Technicznie możliwe jest dalsze powiększanie zbiorów informacji.

Poznano lądy i akweny kuli ziemskiej. Spenetrowano bliską i daleką przestrzeń kosmiczną. Opanowano wyzwalanie energii atomowej, a wcześniej użytkowanie bogactw naturalnych tkwiących w skorupie ziemskiej. Ludzie stworzyli skomplikowane technologie produkowania potrzebnych im urządzeń, ale niestety również straszliwych systemów prowadzenia wojny. Postęp cywilizacyjny nie słabnie, lecz nasila się. Jest to możliwe dzięki genialnym wynalazkom i niezliczonym pokoleniom uczonych, inżynierów i wyspecjalizowanych wytwórców. Procesom tym towarzyszy normalizowanie, celowa standaryzacja i unifikacja wybranych sfer techniki w skali globu ziemskiego. Są to procesy nie kończące się, bowiem właściwością działalności ludzkiej jest nieustanna ekspansja rozwojowa. Ten fenomen ludzki stanowi podstawowy warunek nieustannego rozwoju cywilizacyjnego. Czy rozwój cywilizacyjny ma postać liniową? Niestety, pytanie to i nieskończenie wiele innych nie mają jednoznacznej odpowiedzi.

Pomimo wielkich postępów w rozwoju naukowych dyscyplin ścisłych, na przykład matematyki, fizyki, chemii, oraz stworzenia nowoczesnych komputerów, w otaczającym nas świecie istnieją rzeczy i zjawiska niemierzalne. Szczególnie rozległe sfery niemierzalne występują w obszarze obronności państwa. Czym mierzyć stopień zagrożenia militarnego kraju, wpływ sojuszników na bezpieczeństwo lub efektywność własnych sił zbrojnych? Jak się mają do siebie efektywność i skuteczność systemu obronnego? Nie ma problemów z wartościowaniem, na przykład, liczebności wojsk, liczby czołgów, dział, samolotów, okrętów i innych systemów uzbrojenia. Podobnie rzecz się ma z wieloma mierzalnymi parametrami technicznymi sprzętu. Parametry te wyrażają określone cechy sprzętu, także zjawisk fizycznych. Czy wszystkie cechy można zmierzyć (określić) i wyrazić za pomocą znanych wielkości[1)]? Otóż nie. Problem można przybliżyć poprzez zwrócenie uwagi na stan otoczenia człowieka.

2.1. Mierzalne i niemierzalne cechy otoczenia człowieka

Cecha[2)] może mieć różną naturę, należeć do grupy cech: swoistych; właściwych wszystkim przedmiotom danego rodzaju; ubocznych (nieistotnych); przypadkowych. Wyróżniane są też cechy: główne, typowe, jednostkowe i zbiorowe.

[1)] Wielkość fizyczna - właściwość ciał lub zjawisk, którą można mierzyć... [Słownik języka polskiego, t.3, s.704., PWN, Warszawa 1989].

[2)] Cecha - 1. filoz. wg Arystotelesowej nauki o kategoriach - to, co się orzeka o substancji, niesamodzielny składnik rzeczy, dający się wyodrębnić tylko myślowo... 2. log. cechy istotne - własności decydujące o naturze danego przedmiotu (konstytutywne), pozwalające przewidzieć inne jego cechy i wyodrębnić go spośród innych przedmiotów... [Encyklopedia powszechna, t.1, s.408, PWN, Warszawa 1973].
Cecha - 1. element odróżniający lub charakteryzujący pod jakimś względem istoty lub przedmioty, ich czynności i stany, oraz procesy i zjawiska zachodzące w otaczającej rzeczywistości; właściwość, rys, znamię... [Słownik języka polskiego, t.1, s.233, PWN, Warszawa 1988].

Największe znaczenie w badaniu, poznawaniu i ocenianiu rzeczy (zjawiska) mają cechy swoiste. Przykładem takich cech autostrady jest brak skrzyżowań, więcej niż jeden pas ruchu w każdą stronę, jezdnie oddzielone pasem zieleni lub trwałą barierą. Cechami swoistymi czołgu są: mocny pancerz i trakcja gąsienicowa, a śmigłowca - wirnik (czasami dwa), składający się z łopat nośnych, oraz pionowy start i lądowanie. Cecha ostatnia nie ma charakteru materialnego, bowiem lądowanie (start) jest czynnością właściwą śmigłowcom. Trzeba zauważyć, iż wskazana cecha swoista jest zarazem zbiorową, ponieważ akcentowany sposób startu i lądowania jest wyróżnikiem wszystkich rodzajów i typów śmigłowców. Do grupy cech właściwych wszystkim przedmiotom danego rodzaju należą wymiary[3)]. Te cechy mają naturalne (przyrodnicze) i sztuczne twory materialne. Przykładem pierwszych są rzeki, wąwozy, góry, a nawet drzewa (wysokość, średnica pnia - obwód). Dzieła człowieka obejmują wielką różnorodność wytworów mających wymiary (drogi, budynki, wszelkie urządzenia techniczne). Ich rozmiary planowane są już w etapie projektowania, bądź mierzone[4)] w miarę potrzeb zainteresowanych. Twory naturalne, w tym przedmioty dostępne, na przykład rzeka, mogą być mierzone bezpośrednio i dokładnie. Przykładowo bryła złota raz zmierzona i pozostawiona w spoczynku zachowuje wiecznie posiadane rozmiary. Analogicznie rzecz się ma z większością wytworów ludzkich. Wyprodukowany czołg, samolot lub okręt zachowuje rozmiary do końca użytkowania. Cechy wyrażające coś, co można policzyć, zmierzyć i chociażby porównać z czymś, nie sprawiają istotnych trudności w ich poznawaniu. Jeśli tylko można je w jakiś sposób zmierzyć, to problem kosztów pomiarów i wysiłku jest sprawą drugorzędną. Wśród cech mierzalnych można wyróżnić

[3)] Wymiar - 1. wielkość czegoś materialnego, rozpatrywanego ze względu na swoją długość, szerokość i wysokość lub głębokość; rozmiar czegoś ... [Słownik języka polskiego, t.3, s.820, PWN, Warszawa 1989].

[4)] Miara - 1. wielkość przyjęta za jednostkę porównawczą przy pomiarach wielkości fizycznych tego samego rodzaju: miary handlowe; miara długości, objętości, powierzchni, ciężaru; miary czasu; układ, system miar; wzorzec miary 2. przedmiot, przyrząd do mierzenia... [Słownik języka polskiego, t.2, s.151, PWN, Warszawa 1988].

proste i złożone. Wręcz elementarnymi cechami prostymi są przytoczone rozmiary. Znacznie trudniej określa się, na przykład, masę wody skupioną w nieregularnie ukształtowanym zbiorniku lub jasność gwiazd. Nieprzypadkowo astronomowie określają jasność ocenianej gwiazdy za pomocą porównania do jednej z przyjętych grup jasności gwiazd. Kandela jako jednostka stosowana do pomiaru światła nie jest przydatna w pomiarach jasności gwiazd.

Świadomi potęgi wiedzy człowieka, jako odkrywcy i twórcy, często zapominany o jego ciągłej bezradności wobec poznania wielu dziedzin rzeczywistości świata, który go otacza. Abstrahując od przyznawania racji którejkolwiek ze stron, zwróćmy uwagę na istnienie dwóch wielkich obozów, reprezentujących odmienne poglądy (posługujących się dowodami?) w kwestii genezy Wszechświata. Jeden obóz dowodzi, że świat stworzył Bóg, natomiast przeciwnicy argumentują, że Wszechświat nie miał początku, jest nieskończony przestrzennie i czasowo oraz znajduje się w ciągłym ruchu. Za głoszenie takich poglądów wielu spłonęło na stosach. Nie zdołano poznać w wystarczającym stopniu Naszej Galaktyki. Wprawdzie astronomowie dowodzą, że składa się ona z kilkuset miliardów gwiazd i powstała 10-20 miliardów lat temu, ale brak jest dowodów, które dokumentowałyby powyższe tezy. Przytoczony przykład pochodzi z bardzo odległych człowiekowi przestrzeni. Przestrzeń ta wydaje się wolna od subiektywizmu człowieka, w przeciwieństwie do bezpośredniego otoczenia. Niestety subiektywizm ludzki stanowi brzemienny balast w poznaniu naukowym.

W końcu XX wieku poczesne miejsce na „widowni dziejów" zajęły kolejne transformacje ustrojowe, głównie w większości krajów, tak zwanego realnego socjalizmu. Uporczywe nazywanie tych krajów „postkomunistycznymi" jest przykładem subiektywizmu, który szkodzi ludziom zajmującym się ocenianiem rzeczywistości. Nawet wracanie poważnej części społeczeństw krajów postkomunistycznych do popierania dawnych reguł, jest interpretowane na opak przez badaczy ustrojów. Trudno nie

zauważyć, że w obrębie ustroju kapitalistycznego, brak jest także wzorców mierzalnych. W liczących się państwach różnice w systemach rynkowych są dostrzegalne pomimo ich przynależności do kapitalizmu. Jeszcze bardziej model gospodarki rynkowej dezawuuje „wolny" rynek Chin. Nie ma możliwości obiektywnego ocenienia, który model systemu kapitalistycznego jest lepszy: amerykański? niemiecki? francuski? szwajcarski? szwedzki? czy jakiś inny? Tak więc, nawet w podstawowej kwestii, jaką jest niewątpliwie ustrój państwowy, nie zdołano sprecyzować kryteriów oceny. Jeśli chciano by przyjąć kryterium wzrostu gospodarczego, to jak na ironię w latach dziewięćdziesiątych najwyższe przyrosty osiągał „moloch" azjatycki, nijak nie pasujący do utartych ocen (Chiny, przyrost 12% rocznie).

Sięgnijmy do innej sfery - praw człowieka, wolności osobistych. Czy głównymi miernikami są w tym wypadku: zasada „każdy robi co chce", zupełna niezależność publicystyki (prasa, radio, telewizja) i nierepresyjny aparat państwowy. Jak się mają do tych kryteriów tysiące ofiar padające od kul mafii, nie wyłączając wysokich rangą duchownych; kreowanie rządów państwa i zarządów miast przez mafię, strach obywateli przed powszechnym bandytyzmem? Te wątpliwości odnoszą się nie tylko do Włoch. Mafia amerykańska stanowi niewątpliwie państwo w państwie, a niebezpieczeństwo zabłądzenia nocą do slumsów miast wszyscy znają. Czy zabójstwa Kennedych naprawdę zostały wyjaśnione i wyjawione? W każdym z wymienionych państw, a także i w innych, należących do demokracji „zachodnich", można wyliczyć werbalnie ich zalety i niedostatki, ale jak oceniać je, porównywać i szeregować? Nie dysponujemy miarami. Można rzec więcej. W końcu XX wieku w bardzo biednych krajach rynkowych umierają nadal wielkie rzesze ludzi z głodu i braku elementarnej pomocy medycznej. Jarosław Hašek napisałby, że umierają w błogim uczuciu wolności i prawie decydowania o swoim losie. Wolne media robią biznes pokazując agonię nędzników.

Świadomie ponad zwykłą miarę uwaga została skupiona na sprawach społecznych, bowiem są one najbliższe człowiekowi, także siłom zbrojnym. Stosunki w siłach zbrojnych odzwierciedlają stosunki społeczne. Trudno powstrzymać się w tym miejscu od uwagi szczegółowej. Pierwsi przedstawiciele Wojska Polskiego wizytujący West Point, byli autentycznie zaskoczeni surowością regulaminu kreującego wymagane zachowania się studentów tej sławnej uczelni.

Względność kryteriów i ocen wynika z subiektywizmu, relatywizmu, koniunkturalizmu, poziomu intelektualnego dokonujących oceniania, a nawet mody. Z oczywistych względów, nie miejsce tu na zajmowanie się wpływami ideologicznymi, politycznymi, nacjonalistycznymi i dewiacjami patologicznymi. Natomiast nie można bagatelizować wpływu propagandy na sądy ludzkie. W skali światowej na reklamę towarów (swoista propaganda) wydawane są wprost „niebotyczne" kwoty. Opłacający reklamę i propagandę wiedzą, co czynią. Wydatki zwracają się im z nawiązką i finansujący reklamę są w stanie określać w przybliżeniu efekty.

Mówienie o modzie[5)] wydaje się mało poważne w kontekście podjętego tematu. Tymczasem moda wywiera ogromny wpływ na gusta, sądy i zachowania człowieka. Często nie uświadamiamy sobie, że moda osiąga pozycję podstawowego kryterium oceniania rzeczy bądź działania. Moda stanowi czynnik dominujący nie tylko w ubiorach, ale także w większości dziedzin materialnych i pozamaterialnych. Niemodne kształty samochodów dyskwalifikują je, analogicznie jak stroje, szkoły malarskie lub style architektoniczne. Mistrzowie w każdej dziedzinie potrafią gwałtownie zmieniać modę.

[5)] Moda - zwyczaj, obyczaj przejściowy, zmienny przeciwstawiający się dotychczasowej tradycji w danej dziedzinie: moda artystyczna, literacka; moda w sztuce, architekturze; moda na nowoczesność, na kolekcjonerstwo, na tworzywa sztuczne... [Słownik języka polskiego, t.2, s.199, PWN, Warszawa 1988].

Jak można zmierzyć modę jako cechę? Nie pomogą w tym wypadku kategorie ilości[6] i jakości[7].

W świetle przytoczonych definicji, moda jest odczuciem subiektywnym. Kształtują ją i oceniają eksperci. W sferze ubiorów są oni stosunkowo nieliczni. W przemyśle, na szczęście, moda nie sieje aż tak wielkiego zamętu, ale w tej dziedzinie środowiska ekspertów są liczne, wobec tego istnieją silne przesłanki dla kultywowania racjonalizmu. Przykłady ulegania modom nie omijają sił zbrojnych. W latach sześćdziesiątych lotnictwo bojowe świata na zasadzie „owczego pędu" przeszło gremialnie do eksploatowania samolotów rozwijających prędkości maksymalne około 2 Ma. Prędkości takie potrzebne były niewątpliwie lotnictwu myśliwskiemu. Uzyskały takie parametry praktycznie wszystkie rodzaje lotnictwa, z wyjątkiem transportowego. Rychło stwierdzono, że ten parametr (cecha) nie jest potrzebny LMB, LMSz i LR. Jeszcze amerykański nowy bombowiec otrzymał prędkość maksymalną 2 Ma, ale nowszy B-2 - tylko około 1 Ma.

W poszukiwaniu miar rzeczy i zjawisk usiłujemy posługiwać się pojęciem wielkość[8]. Niestety i to określenie nie ratuje nas w poznawaniu sfer niemierzalnych. Pojęcie wielkości może jednak służyć wyrażaniu ocen przedmiotów mierzalnych. Czego

---

[6] Ilość - kategoria pojęciowa obejmująca to, co może być mierzone lub ważone; miara czego: ilość wody, mleka, cukru... [Słownik języka polskiego, t.1, s.773, PWN, Warszawa 1988].

[7] Jakość - kategoria filozoficzna oznaczająca w sensie ogólnym - właściwość, rodzaj, gatunek, wartość danego przedmiotu (zjawiska), w znaczeniu zaś ściślejszym - cechę lub zespół cech odróżniających dany przedmiot od innych, bądź też całokształt cech danego przedmiotu, istotnych ze względu na jego strukturę wewnętrzną oraz ze względu na jego stosunki, oddziaływania i związki z otoczeniem...
W filozofii europejskiej znany był spór o obiektywny charakter jakości, łączący się z problemem obiektywności poznania i wartości poznawczej wrażeń zmysłowych; w sporze tym występowały trzy główne stanowiska: realizm naiwny (treść wrażeń zmysłowych jest tożsama z cechami postrzeganych przedmiotów), idealizm subiektywny (wrażenia zmysłowe są jedyną rzeczywistością) oraz realizm krytyczny, według którego należy rozróżniać jakości pierwotne (na przykład rozciągłość, masa, ruch), mające charakter obiektywny i jakości wtórne, to jest zmysłowe (na przykład barwa, dźwięk, zapach), o charakterze subiektywnym... [Encyklopedia powszechna, t.2, s.322, PWN, Warszawa 1974].

[8] Wielkość - fizyczna właściwość ciał lub zjawisk, którą można mierzyć, na przykład długość, ciężar, twardość, objętość, przyśpieszenie, natężenie pola elektrycznego itp. ... [Słownik języka polskiego, t.3, s.704, PWN, Warszawa 1989].

nie można zmierzyć, zważyć, poddać analizie chemicznej, to trzeba poznawać (rozwiązywać) z wykorzystaniem metod eksperckich (na przykład z wykorzystaniem systemów eksperckich).

Nawet o przedmiotach niemierzalnych posiadamy przynajmniej wiedzę ogólną. Często możemy je obserwować i wyodrębniać myślowo liczne cechy. Jeśli jest ich niewiele, wówczas stają się one swoistymi kryteriami wartościowania. Przy znanych licznych cechach, kryteria ocen tworzy się z podzbiorów cech. W procesie tym osiąganie obiektywizmu bywa trudne. Wbrew potocznym ocenom, nawet przedmioty cechujące się mierzalnymi parametrami szczegółowymi są postrzegane kontrowersyjnie. Przy występowaniu szeregu kryteriów i jeszcze większej liczbie cech (parametrów) powstaje problem wag tych wielkości. W wypadku porównywania dwóch przedmiotów określonego rodzaju, różniących się wielkościami cech (a zatem i kryteriów), nieuniknione często jest posługiwanie się współczynnikami wagowymi. Współczynniki te trzeba określać metodami eksperckimi, bowiem nie ma obiektywnych miar ich wyznaczania drogą pomiarów. Stwierdzenie, że polonez jest gorszy od mercedesa można udowodnić za pomocą kilku parametrów. Wystarczy porównać niezawodność, komfort jazdy, trwałość i estetykę. Kiedy jednak zaczniemy porównywać ceny zakupu, koszta części i napraw, wysokość podatków i składek ubezpieczeniowych, także przystosowanie do dróg o złej nawierzchni, to wówczas kryteria te preferują poloneza. Jak wobec tego określić ogólny stosunek jakości pomiędzy przykładowymi samochodami? O ile mercedes jest lepszy od poloneza. Jak to wyrazić?

Immanentną cechą zbiorowiska ludzkiego jest znaczne zróżnicowanie upodobań, różnorodnych przekonań, preferowanych wartości i nietolerowanie z zasady wartości narzucanych przez innych. Statystyczny człowiek dąży do osobistego decydowania o wartości otaczających go przedmiotów i zjawisk. Jednocześnie wie lub jest nieświadom, że na jego sądy wpływają rozliczne oddziaływania spoza jego psychiki. Są

nimi szkoły, które kończył (poziom intelektualny), telewizja, radio i prasa, otoczenie ludzi, w którym dany człowiek żyje, osobistości ze sfery politycznej (ideologicznej), mające możliwość dłuższego oddziaływania na psychikę człowieka, a także aspiracje i obrane metody ich osiągania. W dziejach ludzkości znane są osobistości pozytywne i, niestety, negatywne. Wielcy Polacy, na przykład Jan III Sobieski i Tadeusz Kościuszko, kształtowali swymi czynami postawy Polaków im współczesnych, ale także pokoleń, które rodziły się po ich czasach. Pierwszy Marszałek Polski, Józef Piłsudski, przeciwnie - największy wpływ wywarł na Polaków za swojego życia. To samo można powiedzieć o cesarzu Francuzów Napoleonie Bonaparte. Oczywiście, postać ta nie jest w Polsce tak jednoznacznie pozytywnie oceniana, jak trzej wyżej wspomniani wielcy Polacy. Przykładem na to, jak bardzo potrafią wpływać jednostki na umysły wielkich rzesz ludzkich, są ze wszech miar potępiani Adolf Hitler i Józef Stalin. Morderstwa przez nich kreowane to fakty powszechnie znane. Jednakże nie można pominąć faktów, że wielu Rosjan umierało na polu bitwy lub w więzieniu z imieniem Stalina na ustach. Fanatyczne kohorty hitlerowców walczyły na polach bitew II wojny światowej pełne ufności w zapewnienia swego „fuhrera". Przytoczone przykłady, różniące się skalą dobra lub zła, należą do najbardziej znanych, nie są jednak odosobnione. W historii ludzkości było ich wiele. Znane samounicestwienia licznych sekt lub drastyczne zniewolenie (pseudoreligijne) nadal funkcjonujących, świadczą jak dalece człowiek jest podatny na podstępne, zawoalowane, ale wyzyskujące jego próżność i oczekiwania, oddziaływania demagogów. Wobec prób przymusu, człowiek z reguły buntuje się i stawia opór. Umiejętnie manipulowany bywa wystawiany na przemożną pokusę. Jednostki inteligentne, wysoko postawione lub charakterologicznie kierujące się własnymi sądami, nie ulegają z reguły wpływom zewnętrznym. Czy zawsze? Odpowiedź twierdząca byłaby nader ryzykowna. Ludzką cechą jest popełnianie błędów. Jedni czynią to nader rzadko, inni częściej. Okazuje się, że nawet liczne zespoły ludzkie popełniają czasami błędy,

szczególnie kiedy stoją przed zadaniami rozwiązywania problemów niemierzalnych. Dlatego też stosowanie komputerowych systemów eksperckich ma w założeniu, między innymi, umożliwiać eliminowanie subiektywizmu ekspertów, strzec przed zbiorowym popełnianiem błędów.

2.2. Rola ekspertów w badaniach naukowych

Wielu poważnych uczonych nie uznaje badań eksperckich za odrębną metodę badawczą. Najpoważniejszym argumentem używanym do uzasadnienia takiego stanowiska jest brak, w większości wypadków, czynności badawczych. Eksperci w zasadzie wypowiadają sądy o rzeczach lub zjawiskach na podstawie pracy myślowej. Podczas tej pracy odwołują się do swego doświadczenia, wiedzy ogólnej i wiedzy szczegółowej o podobnych przedmiotach i zjawiskach. Znajomość praw fizycznych i determinantów logicznych, regulujących funkcjonowanie otoczenia człowieka, umożliwia ekspertom odgadywanie rzeczywistości w stopniu odpowiadającym poznaniu naukowemu, nawet bez możliwości fizycznego wnikania w istotę zjawiska (przedmiotu).

Powyższe konstatacje uzasadnione są przez znane i do tego wielce spektakularne odkrycia naukowe dokonane na drodze czystego poznania rozumowego. Przykładem są wiekopomne dokonania Alberta Einsteina[9)]. Pierwszym było równanie opisujące energię zawartą w materii. Czy A. Einstein sformułował ten wzór za pomocą klasycznych metod badawczych? Postawione pytanie jest celowo retoryczne. Wzór wyraża jedno z największych praw fizycznych, podobnie jak sformułowana przez tego uczonego teoria

---

[9)] Einsteina wzór, związek między masą i energią $E = mc^2$, gdzie E - całkowita energia ciała (układu cząstek), m - jego masa, c - prędkość światła w próżni. Jeśli w wyniku jakiegoś procesu (rozszczepienia lub syntezy jąder, spalania) wydzieli się energia ΔE, to równocześnie masa układu zmniejszy się o $\Delta m = \Delta E/c^2$; w procesach chemicznych (np. przy spalaniu) powstający ubytek masy jest znikomy, dopiero w procesach jądrowych ilość masy przekształconą w energię można wyznaczyć doświadczalnie... [Encyklopedia powszechna, t.1, s.674, PWN, Warszawa 1973].

względności. Odkrycia te zrodziły się w umyśle genialnego człowieka, nie w laboratoriach i podczas eksperymentów, lecz podczas „męki" abstrakcyjnego rozumowania. Czy A. Einstein był unikalnym uczonym? Trudno nie wspomnieć o największych umysłach ludzkości. Byli nimi, niewątpliwie, Leonardo da Vinci i Mikołaj Kopernik w średniowieczu oraz wielu starożytnych i żyjących w ostatnich wiekach. Wprawdzie ryciny ukazują M. Kopernika z prostymi przyrządami pomiarowymi w rękach, ale wiemy, że nie one umożliwiły mu „wstrzymanie Słońca i ruszenie Ziemi". To Jego umysł „stworzył" opis rzeczywistości astronomicznej przedstawionej w dziele „O obrotach sfer niebieskich".

Warto przytoczyć jeszcze jeden przykład rozumowego (eksperckiego) dokonywania odkryć. Otóż wiadome było po 1945 roku, że reakcja rozszczepiania jąder atomów uranu potwierdziła prawdziwość równania Einsteina. Próby na poligonie w Almagordo (USA), a następnie zrzucenie bomb atomowych na Hiroszimę i Nagasaki, powodowały wyzwolenie ogromnej energii niszczącej w postaci ciepła, fali uderzeniowej oraz różnorodnego promieniowania przenikliwego[10]. Masa „podkrytyczna" uranu nie ulegała rozszczepianiu, powodując długotrwałe skażenia podłoża ziemskiego i powietrza. Zorientowano się szybko, że w drodze rozszczepiania jąder atomów uzyskuje się energię tylko z części masy. Twórcy bomby atomowej i inni eksperci wysunęli tezę, że dałoby się wyzwolić więcej energii w procesie syntezy, na przykład deuteru czy trytu. Rozumowo ustalono, że podczas reakcji syntezy nastąpi łączenie elementów atomów (powstają atomy cięższe), a uwalniany „nadmiar" energii będzie wielokroć większy niż powstający podczas rozszczepiania jąder atomów. Określono też, że reakcja syntezy może być wywołana, ale w temperaturze rzędu 5 milionów stopni C.

---

[10] Zespołem fizyków konstruujących bombę atomową kierował Robert Oppenheimer (w zespole pracowali wybitni fizycy N. Bohr, E. Fermi, H.Bethe, C. Seaborg). Edward Teller pracujący w zespole nie był początkowo zaliczany do postaci wybitnych [Encyklopedia powszechna, t.1, s.350, PWN, Warszawa 1973].

W tym wypadku pomocne były wcześniejsze obserwacje przemian jądrowych zachodzących w obszarze Słońca. Jednocześnie zmierzono, że w obszarze reakcji bomb atomowych (epicentrum reakcji rozszczepiania), powstaje temperatura około miliona stopni C. Wydawało się, że bariery cieplnej nie można pokonać. I oto wówczas Edward Teller, młody fizyk, sformułował hipotezę naukową twierdząc, że zmierzono temperaturę obszaru reakcji rozszczepienia w bombie atomowej, ale w niektórych małych punktach „kuli ognistej" temperatura jest kilkakrotnie wyższa. Przyjęto tę hipotezę i zbudowano pierwszą bombę wodorową, w której ładunek atomowy stanowił zapalnik. Przewidywanie E. Tellera potwierdziło się i on zyskał miano „ojca" bomby wodorowej.

Przytoczone przykłady wielkich odkryć rozumowych dowodzą kategorycznie, że poznawanie rozumne, tożsame z eksperckim, stanowiło i stanowić będzie nadal główną drogę badań oraz rozwiązywania wszelkich niemierzalnych zjawisk i sfer materii. Także w sferach poznanych, opisanych i praktykowanych, ciągle odwołujemy się do pomocy ekspertów. Często nazywamy ich biegłymi. Są oni nieodzowni sądom (prawnikom), potrzebni w przemyśle i handlu, lecznictwie i ekologii - praktycznie we wszystkich dziedzinach życia i działalności człowieka. Skoro tak, to w obronności są niewątpliwie jeszcze bardziej konieczni, o czym traktuje kolejny punkt.

2.3. Stosowanie systemów eksperckich w sferze obronności

Z założenia każdy specjalista, w tym dowódca i oficer sztabu, jest ekspertem w dziedzinie, którą zgłębił. W praktyce bywa tak, że o uznaniu kogoś za eksperta decyduje wiele czynników. Formalnie najważniejszymi są poziom intelektualny i doświadczenie. Sytuacje życiowe tworzą także różnorodne paradoksy. Zdarza się, że

w konkretnej sytuacji rada prostego rzemieślnika (na przykład hydraulika) jest bardziej trafna niż niedoświadczonego inżyniera tej specjalności. Ileż skutecznych usprawnień w sprzęcie uzbrojenia wnosili prości żołnierze w okresie pokoju i wojny [11, s.413, 423]. Kiedy myślimy o systemach eksperckich, których podstawę działania stanowi wiedza wybitnych znawców rozwiązywanych problemów, to nie mamy na myśli zdarzeń jednostkowych, losowych. Zwłaszcza rozwiązywanie problemów obronności kraju powinno mieć charakter kompleksowy. Prekursorem, usiłującym wykorzystać intelekt wybitnych ówczesnych ekspertów w kwestiach obronności państwa, był Pierwszy Marszałek Polski Józef Piłsudski [24, s.51-54]. Otóż Marszałek w 1934 roku zadał pytanie 15 czołowym generałom, 4 pułkownikom oraz ministrowi i wiceministrowi Spraw Zagranicznych, które brzmiało: „Które z tych państw jest niebezpieczniejsze dla Polski i prędzej niebezpiecznym stać się może? Rosja czy Niemcy?". Spośród 21 respondentów, tylko 3 wskazało na Rosję (w tym późniejszy marszałek E. Rydz-Śmigły). Dwaj cywile i trzej wojskowi wskazali na obu sąsiadów (najpierw Rosja, a później Niemcy), aż 13 zapytanych oceniało, że pierwsi mogą zaatakować Polskę Niemcy.

Zdecydowana większość ankietowanych wskazała prawidłowe rozwiązanie. Jak wiadomo, Niemcy pierwsi napadli na nasz kraj, a były ZSRR wziął udział w podziale łupu. Siły zbrojne Polski ugrupowano obronnie w 1939 roku przeciwko Niemcom. Szkoda, że nie kontynuowano sondażu ekspertów i w innych kwestiach. Dzisiaj wiadome jest, że wysunięcie na zachód armii „Poznań" i na północny-zachód armii „Pomorze", było bardzo poważnym błędem. Jerzy Giedroyć (redaktor naczelny Kultury Paryskiej) opublikował fragmenty treści rozmowy, którą odbył po 17 września 1939 roku w Rumunii z marszałkiem Edwardem Rydzem-Śmigłym. Otóż na pytanie dlaczego nie ugrupowano polskich sił głównych do obrony rubieży Wisły, padła odpowiedź Marszałka: „Niech mnie pan nie traktuje za idiotę, ja to doskonale rozumiałem, ale mnie

by nigdy Polska nie wybaczyła, gdybym pół Polski oddał bez strzału"[11]. Stało się coś gorszego. Broniąc się na wcześniej przygotowanych i celowo wybranych rubieżach, siły zbrojne Polski mogły osiągnąć większe sukcesy. Natomiast w naszych działaniach odwrotowych zmechanizowana armia hitlerowska zyskała dodatkową przewagę. Eksperci powinni byli odpowiednio wcześnie wykazać, że piechur nie ma żadnych szans w manewrze, atakowany przez wojska zmechanizowane. Z chwilą przejścia wojsk polskich w 1939 roku do działań odwrotowych, Niemcy zyskali szanse ich błyskawicznego rozproszenia. Fakt, że Wódz Naczelny i pomniejsi dowódcy byli zaskoczeni tempem ponoszonych klęsk świadczył, że wcześniej nie opracowywano odpowiednich ekspertyz. Czy tylko wtedy?

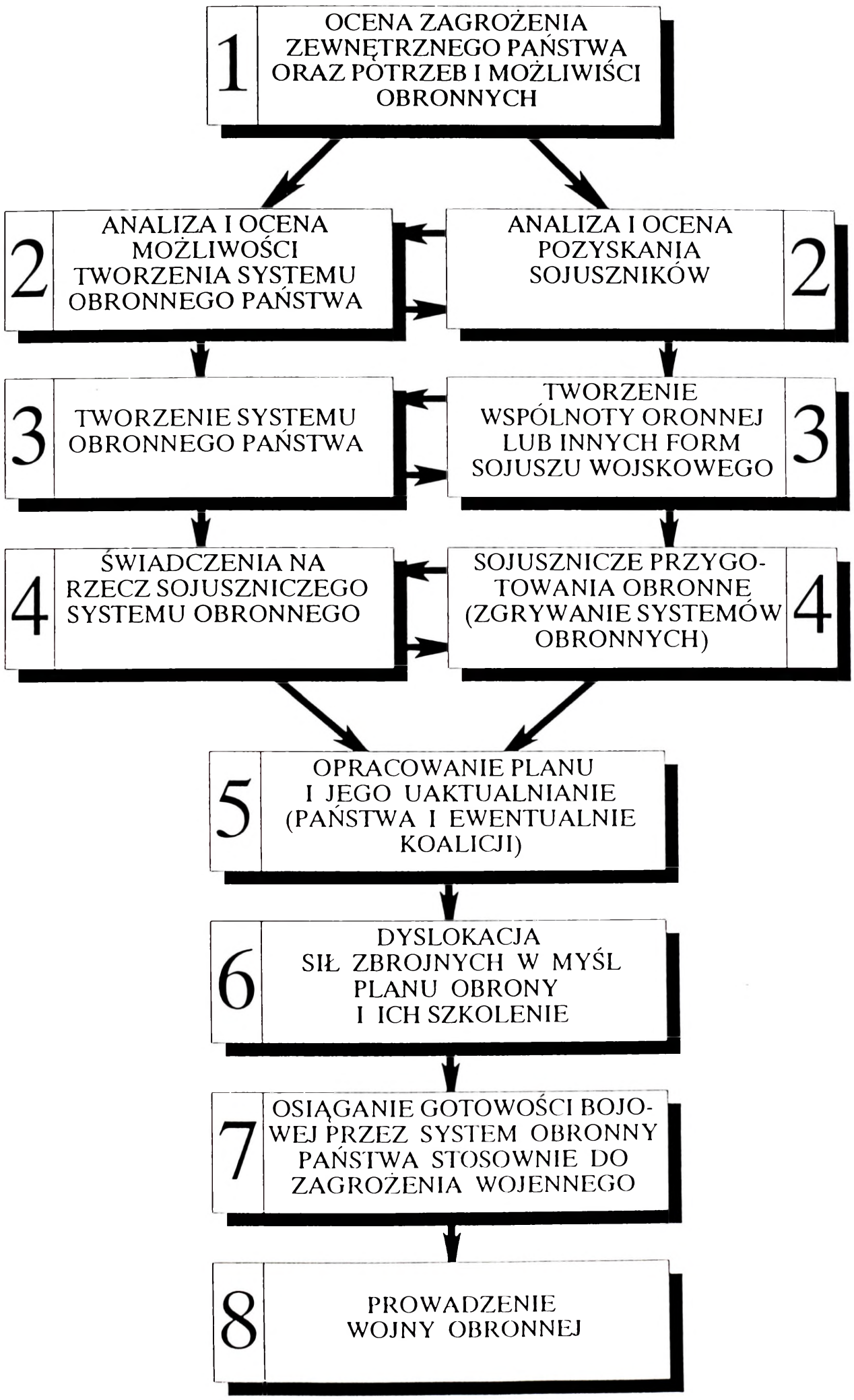
Szkoda, że nie zapytano o problem odpowiednio wcześniej ekspertów. Było jeszcze gorzej. Generał broni Kazimierz Sosnkowski, wyznaczony 10 września 1939 roku na formalnego dowódcę Południowej Grupy Armii (armie „Karpaty" i „Kraków"), nie tylko nie był o nie pytany, ale wyruszył na wojnę nie poinformowany o sprawach natury strategiczno-operacyjnej [24, s.43, 81-85].

Doświadczenia polskie i cała historiografia wojskowa świadczą o tym, jak bardzo złożoną dziedzinę stanowi tworzenie systemu obrony kraju przed zagrożeniami zewnętrznymi. W kontekście stosowania systemów eksperckich, nie są konieczne szczegółowe opisy czynności, które muszą być wykonywane w ramach przygotowania państwa do obrony. Na rysunku 2.1. wyszczególniono zaledwie siedem etapów (faz) tworzenia systemu obronnego państwa samodzielnie lub osiem, jeśli dane państwo jest uczestnikiem wspólnoty obronnej (członkiem paktu wojskowego).

Sposób graficznego przedstawienia niezbędnych przedsięwzięć determinowany jest celem opisu. Możliwe jest wyróżnianie dziesiątków czynników lub wręcz przeciwnie

---

[11] Rozmowa Andrzeja Garlickiego z Jerzym Giedroyciem „Nie wyprowadzam się z Polski", Polityka nr 48 (1960) z 26.11.1994.



Rys.2.1. Schemat rozwiązywania problemów obronnych państwa

- wyróżnienie tylko dwóch etapów: etapu przygotowania systemu obronnego państwa oraz etapu prowadzenia wojny obronnej. Etap pierwszy cechuje się permanentnością, w sensie czasu i ciągu czynności, na przykład szkolenia, restrukturyzacji sił bojowych, modernizacji uzbrojenia (unowocześniania), rotacji zapasów mobilizacyjnych oraz nauczania zachowania społeczeństwa na wypadek wojny i przygotowywania organizacji paramilitarnych do działań obronnych. Etap przygotowań obronnych nie jest mierzalny w czasie. Tempo osiągania określonych potencjałów zależy głównie od możliwości ekonomicznych państwa. Poziom potencjału powinien być wprost proporcjonalny do stopnia zagrożenia zewnętrznego. I to jest przysłowiowym węzłem gordyjskim. Okazuje się, że nawet ilościowo porównywalne siły broniącego się i agresora, nie zapewniają skutecznej obrony. Przeciwko wojskom Francji i jej sojuszników, Niemcy użyli w 1940 roku liczebnie nie większe masy wojsk, a mimo to odnieśli błyskawiczne zwycięstwo. Szwajcaria (neutralność kraju od 1813 roku) ma znikome siły zbrojne, a obrona terytorialna w 22 kantonach stanowi fundament systemu obronnego państwa. Szwecja, neutralna od XIX wieku, przejawiała inną orientację. Zwłaszcza po II wojnie światowej utrzymywała liczące się siły zbrojne. Szwedzki przemysł zbrojeniowy, tworzony już w okresie międzywojennym, pokrywał większość zapotrzebowania swoich sił zbrojnych na techniczne i materiałowe środki walki. Kraj, wprawdzie półtora raza większy od Polski obszarowo, ale mający ponad trzykrotnie mniej mieszkańców, produkuje samoloty, okręty, działa i inne systemy uzbrojenia na poziomie światowym. Oba kraje, niegdyś neutralne, wchodzą od 1994 roku do UE, ale ich różniące się w przeszłości orientacje militarne zasługują na uwagę. Czym kierowano się tworząc tak odmienne systemy obronne? Ekonomika obu państw była porównywalna, zatem nie wydolność ekonomiczna była głównym czynnikiem stymulującym. Sądzić można, że położenie geopolityczne Szwecji stanowiło główny czynnik, kreujący wzmożony wysiłek militarny tego kraju. W okresach oporów społecznych Szwedów przed dużymi obciążeniami na

rzecz obronności, pojawiały się u brzegów kraju „niezidentyfikowane" okręty podwodne. Neutralność Szwecji osłabiała północną flankę obrony NATO. Wobec tego, Szwedzi zmuszeni byli troszczyć się o możliwie największy własny potencjał obronny. Jak wyznaczali jego poziom? W skali światowej ukształtowała się swoista strategia podziału budżetu państw. Kraje demokratyczne, nie zagrożone szczególnie, wydzielają zwykle 2-3% wpływów państwowych na obronę. Kraje totalitarne - 10% i więcej. Pierwsze uznaje się za racjonalne, bowiem takie wydatki nie rujnują ekonomiki kraju i nie wycieńczają społeczeństwa. W okresach wzmożonego zagrożenia zewnętrznego uzasadnione są nadzwyczajne nakłady w każdym kraju. Nie mogą one jednak osiągać absurdalnych rozmiarów. W 1939 roku Polska zabiegała o pożyczki zagraniczne na cele obronne, zwiększała wydatki państwowe, a ponadto inicjowano dobrowolne ofiary społeczeństwa, z fundowaniem wojsku uzbrojenia włącznie. Patriotyzm i ofiary społeczne mają znaczenie głównie moralne.

Po upływie przeszło półwiecza od napaści hitlerowców na Polskę jest oczywiste, że należało inaczej przygotować się do obrony. Pieniądze wydane na okręty nie przyniosły efektów w 1939 roku. Zamiast tych okrętów należało dać siłom zbrojnym kilka tysięcy armat przeciwlotniczych, skutecznych również w walce z wojskami pancernymi i zmotoryzowanymi. Mizeria ówczesnych sił zbrojnych wynikała z ich bezradności wobec uderzeń powietrznych i „zagonów pancernych". Nawet kosztem zmniejszenia liczby dywizji piechoty i brygad kawalerii, należało pozostałe nasycić skuteczną bronią przeciwlotniczą i przeciwpancerną. Wówczas okrzyk „czołgi" lub „samoloty" nie napawałby przerażeniem cywili, ale i wojska usiłującego stawić czoła najeźdźcy.

Trudno pominąć doświadczenia wojenne, ponieważ one obiektywnie uzasadniają postulaty dotyczące przyszłości. W sprawach przyszłej obronności kraju nie można dopuścić do spełnienia się bardzo starego porzekadła „mądry Polak po szkodzie".

Z dzisiejszego punktu widzenia oceniamy, że w 1939 roku nasi przodkowie wykazywali rozczulającą naiwność w ocenie możliwości przyjścia z pomocą militarną Polsce przez jej sojuszników - Wielką Brytanię i Francję. Powiedzmy wprost - państwa te miały interes i dobrą wolę w udzieleniu Polsce gwarancji wojskowych. Nie miały możliwości ich spełnienia w czasie oczekiwanym przez Polskę. Czy wolno nam było nie liczyć się z nastrojami ówczesnych społeczeństw tych państw? Możliwościami fizycznymi przyjścia z pomocą sojuszniczej Polsce? Mieliśmy obowiązek realnie oceniać sytuację.

A tragedia ludności cywilnej w powstaniu warszawskim? Oskarżenia J.Stalina o okrutne i perfidne wstrzymanie pomocy powstańczej Warszawie są niepodważalne. Trudno jednak pogodzić się z udawaniem, że podejmujący decyzję o rozpoczęciu powstania nie wiedzieli o wcześniejszych zbrodniach stalinowskich i mieli prawo liczyć na jego dobrą wolę. Niestety, doświadczenie z dziecinnie łatwego rozbrajania Niemców na ulicach Warszawy w 1918 roku oraz patriotyczne porywy uniemożliwiały realną ocenę sytuacji. Z literatury pamiętnikarskiej dowiadujemy się o celach powstania. Szlachetnych! Nie ma natomiast mowy o ocenie sytuacji, analizie możliwości osiągnięcia celów. Wołanie o lądowanie polskiej Brygady Spadochronowej w Warszawie, w toku dogorywającego powstania, wystawiało autorom tego pomysłu opinie ludzi oderwanych od rzeczywistości. Nie wolno uchybiać czci nieżyjących bohaterów narodowych i wobec tego na tych delikatnych sformułowaniach trzeba poprzestać. Natomiast warto sięgnąć do przykładów z życia innych narodów. Nasi sąsiedzi, Czesi, poddani przemocy hitlerowskiej w 1939 roku, inaczej rozwiązali problem. Ich straty materialne i ludzkie (nie licząc wioski Lidice), poniesione w ciągu całej wojny, były nieporównywalnie niskie w stosunku do Polski.

Pokonani w 1945 roku Niemcy natychmiast odrzucili wcześniejszą butę i przyjęli warunki podyktowane przez zwycięzców. Efekt? Są potęgą ekonomiczną, militarną

i mają bardzo dobre stosunki z państwami zwycięskiej koalicji. No cóż!? Narody wysoko rozwinięte cywilizacyjnie nie stawiają na pierwszym miejscu spraw politycznych i ideologicznych. RFN udzielała wielkiej pomocy byłej NRD. Zdawano sobie sprawę że „Honeckerowie przychodzą i odchodzą", a ojczyzna, którą jest ziemia i naród, pozostaje. Duża część inteligencji polskiej, której nie zniszczył hitleryzm, a później stalinizm, padła na barykadach Warszawy. Obu wrogom polskiej inteligencji sprawiono powstaniem warszawskim niewątpliwą satysfakcję. Istnieje obiegowe powiedzenie, że „wojna jest zbyt poważną sprawą, aby powierzyć decydowanie o niej wojskowym". Należałoby rzecz postawić inaczej - „prowadzenia wojny nie można powierzyć ignorantom". O wojnie powinni decydować eksperci, których ubiór nie ma znaczenia. Wszak Pierwszy Marszałek Polski nie miał wykształcenia wojskowego, ale jego geniusz walnie przyczynił się do zwycięstwa oręża polskiego w wojnie z bolszewikami. Później każdy rok działał na niekorzyść Marszałka. Nie był w stanie dotrzymywać kroku przemianom doktrynalnym i technicznym dokonującym się w czołowych armiach Europy. Pomijał rolę lotnictwa i wojsk pancernych, które wkrótce staczały rozstrzygające bitwy w kolejnych kompaniach II wojny światowej.

Geniusz Napoleona Bonaparte zapewniał Francuzom błyskotliwe zwycięstwa do czasu. Już bardzo dawno temu stwierdzono, że w erze istnienia armii masowych i prowadzenia starć zbrojnych na wielkich przestrzeniach dowódcy, nawet tytani intelektualni, nie mogą z powodzeniem sami realizować złożonych funkcji dowodzenia. Istniejące sztaby, stanowiące organa dowodzenia jednoosobowego, pod niektórymi względami spełniają rolę ekspertów. Tym niemniej wewnętrzne zróżnicowanie specjalności członków sztabów najczęściej uniemożliwia opracowywanie ekspertyz[12] na złożone tematy. Poszczególni oficerowie są z natury pojedynczymi ekspertami[13], a

---

[12] Ekspertyza - badania przez ekspertów dowodów rzeczowych lub faktów w celu wydania orzeczenia... [Słownik języka polskiego, t.1, s.525, PWN 1988].

[13] Ekspert - specjalista powoływany do wydawania orzeczenia lub opinii w sprawach spornych, wchodzących w zakres jego kompetencji; biegły, rzeczoznawca... [Tamże, s.525].

trudne problemy mogą efektywnie rozwiązywać tylko liczne zespoły ekspertów w danej dziedzinie. Im większa grupa ekspertów jest wykorzystywana, tym wyniki są bardziej wiarygodne, obiektywne. Układy „przełożony - podwładny ekspert" bywają zawodne. Prawo wypowiadania (meldowania) odmiennych sądów przez podwładnego przejawia się bardziej w teorii niż w praktyce. Specyfika stosunków służbowych nie tworzy sprzyjających warunków do głoszenia niezależnych opinii i poglądów, gdyż graniczy z niesubordynacją. Można sądzić, że wprowadzenie do użytku komputerowych systemów eksperckich umożliwi wyeliminowanie powyższych zahamowań. Komputer może spełniać rolę arbitra zbierającego nieskrępowane opinie sztabu, „żądać" uzupełnień i opracowane wyniki przedstawiać dowódcy. Swoista anonimowość umożliwi eliminowanie mimikrii, czy wręcz serwilizmu. Wprawdzie stosowanie zasady jednoosobowego dowodzenia jest najlepszą z możliwych form funkcjonowania struktur organizacyjnych wojska, ale rodzi przesłanki do dominacji subiektywizmu przełożonego. Wdrożenie do użytku narzędzia w postaci komputerowych systemów eksperckich niewątpliwie uwolni siły zbrojne od tegoż subiektywizmu. Ustrzeże od następstw mylnych decyzji podejmowanych jednoosobowo przez uprawnione osoby funkcyjne. W zamierzchłej przeszłości wódz winien klęski zwykle tracił głowę. Współcześnie rażąca indolencja i „sobiepaństwo" dowodzących karane jest co najwyżej pozbawieniem eksponowanego stanowiska.

2.4. Prognozowanie i programowanie wojskowe z zastosowaniem systemów eksperckich

Działalność w sferze obronności instytucji cywilnych, począwszy od najwyższych władz państwowych aż do gminy, oraz dowództw i sztabów sił zbrojnych rozpoczyna się

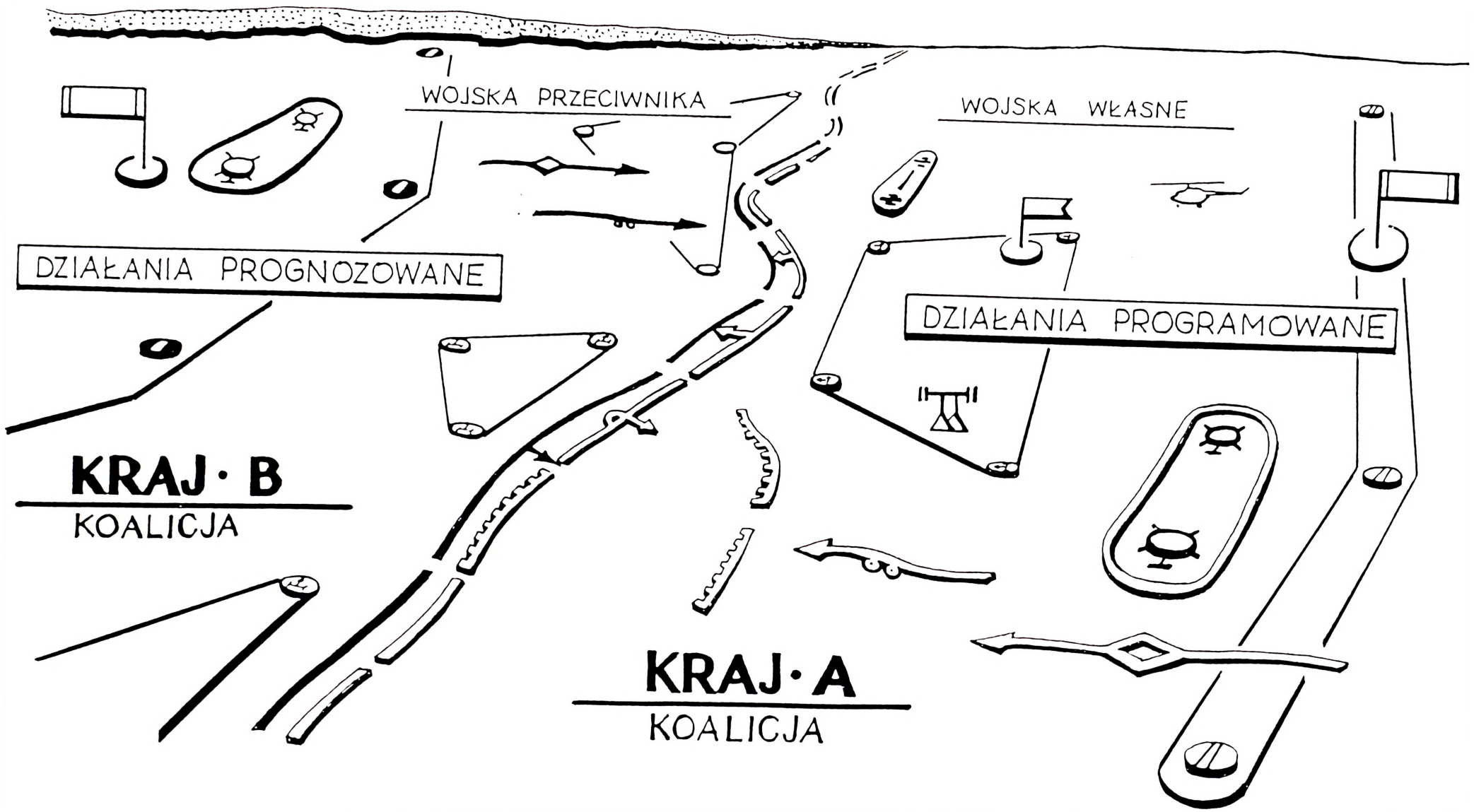
od prognozowania[14]. Jest to konieczność obiektywna, bowiem w problematyce obronności mamy do czynienia z dwoma względnie niezależnymi podmiotami. Jednym jest nasze państwo z ewentualnymi sojusznikami lub jakaś jego komórka, drugim - kraj sąsiedni, bądź koalicja krajów. Własne zamierzenia obronne (operacje wojskowe, walkę) możemy programować[15]. Upoważnione, a jednocześnie kompetentne merytorycznie, organa są w stanie programować działania podległych im sił, produkcję sprzętu i wyposażenie techniczne wojsk oraz obrony cywilnej (uzbrajanie), tworzyć rezerwy (zapasy) mobilizacyjne, prowadzić szkolenie obronne (wojsk) i inne przedsięwzięcia. Wszystkie te elementy muszą być adekwatne do możliwych stanów zagrożenia wojennego i ewentualnej wojny obronnej. Innymi słowy, muszą być uwzględniane dwa podmioty przedstawione na rysunku 2.2., przy czym potencjalnych naszych sojuszników powinno się traktować jako trzeci podmiot. Doświadczenia historyczne świadczą, że zachowanie ich bywa zmienne, czasami nieprzewidywalne.

Każdy z przeciwstawnych podmiotów ma podobne (wspólne) cechy, ale także odmienne. Teoretycznie rzecz biorąc, nie ma powodów, aby którykolwiek z naszych sąsiadów zmienił przyjazne nastawienie do Polski i stał się agresorem. Taka ocena jest w istocie hipotezą, przewidywaniem, przekonaniem opartym na racjonalnych przesłankach. Podobnie ocenia sytuację militarną zdecydowana większość krajów europejskich, a mimo to wszystkie kraje posiadają siły zbrojne. Przekonanie o pokojowym współżyciu państw, może mieć tylko rangę prognozy. Tego nie można programować. Jak dowodzi praktyka, nawet interwencje sił zbrojnych z mandatu ONZ nie mogą uchronić w pełni krajów przed wojnami między sobą (Bliski Wschód, Korea)

---

[14] Prognozować - stawiać prognozę, przewidywać; opracowywać naukowe prognozy dotyczące przebiegu przewidywanych procesów i zjawisk: prognozować procesy społeczne; prognozować skutki rozwoju nauki i techniki; okres, obszar prognozowany [Słownik języka polskiego, t.2, s.931, PWN 1988].

[15] Programować: 1. - układać, tworzyć program jakiegoś działania, imprezy itp.; zamierzać, planować: programować jakąś pracę, akcję; programować dzień... 2. cybern. zestawiać program kolejnych operacji maszyny matematycznej [Tamże, s.932].



Rys.2.2. Podmioty prognozowania i programowania wojskowego

i w ramach państw (Jugosławia, Somalia). Zachowanie militarne sąsiadów można tylko prognozować. To dotyczy kwestii pokoju i wojny, także celów, terminów i rozmachu militarnego ewentualnej agresji. Powinnością organów kierowniczych państwa, szczególnie sił zbrojnych, jest systematycznie ocenianie stanu bezpieczeństwa zewnętrznego oraz weryfikowanie opracowywanych prognoz. Opisane wcześniej badanie opinii kompetentnego zespołu ekspertów przez Pierwszego Marszałka Polski umożliwiło Józefowi Piłsudskiemu sformułowanie prognozy w interesującym go ogólnie problemie zagrożenia zewnętrznego. Państwa wzajemnie obserwują swoje poczynania. Robią to oficjalnie ambasady (w nich attachaty wojskowe), konsulaty oraz szpiedzy zewnętrzni i zwerbowani w kraju będącym przedmiotem zainteresowania. Pomimo to, najczęściej nie można osiągnąć wystarczającego poziomu wiarygodności zdobywanych informacji. Organa kontrwywiadowcze państw osiągają najwyższe efekty w dziedzinie dezinformacji. Najważniejsze decyzje podejmują i planują ich realizację w sferze militarnej, nieliczne zespoły na szczytach władzy państwowej. Praktyka taka jest stosowana w państwach autokratycznych i demokratycznych. Dlatego też prognozuje się prawdopodobne zamiary militarne sąsiadów na podstawie oznak świadczących o przygotowywaniu się do wojny. Tak było w przeszłości. Czy nadal kanon ten jest aktualny?

Przy dużych różnicach potencjałów wojskowych państw w okresie pokoju, a taką sytuację mamy w Europie, państwo silniejsze może dokonać ograniczonej agresji bez widocznych przygotowań, z zaskoczenia. Wobec tego nieuniknione jest prognozowanie wielowariantowe, przewidywanie różnych opcji.

Wprawdzie na rysunku 2.1. wskazano przykład harmonijnego współdziałania sojuszniczego, ale odstępstwa od ideału mogą być znaczne. Tymczasem i w prognozowaniu i programowaniu, konieczne jest rozpatrywanie różnych opcji. Niektórzy eksperci nie dopuszczają myśli, że mogłoby się przydarzyć Polsce coś

podobnego do 1939 roku. Oceniają kategorycznie, że wówczas sytuacja była mniej pomyślna dla Polski. Fakty przeczą tej tezie. Posiadaliśmy armię względnie słabo uzbrojoną, ale liczną. Polska i jej dwaj sojusznicy (Francja i Wielka Brytania) - potęgi kolonialne, wspólnie otaczali późniejszego agresora. Siły zbrojne trzech sojuszników górowały liczebnie nad niemieckimi. A mimo to wydarzenia wojenne były dla nas tragiczne.

Obecnie w prognozach militarnych nie można odrzucać faktu istnienia potężnych arsenałów jądrowych. Ogłoszono, że era istnienia dwóch supermocarstw przeminęła. Zostało jedno supermocarstwo - USA. Pod względem ekonomicznym bez wątpienia Rosja nie może równać się z USA. A co się dzieje z potencjałem jądrowym Rosji? Praktycznie nic się nie zmieniło. Dominują nadal dwa państwa - USA i Rosja. Do klubu „państw atomowych" należą ponadto Francja, Wielka Brytania i Chiny. Potencjał jądrowy rozwijających się Chin nie ma wpływu na sytuację militarną w naszej strefie geograficznej. Nie można tego rzec o pozostałych państwach. Istnieją de facto dwa układy militarne - konwencjonalny i nuklearny. Pierwszy może być przedmiotem analiz, ocen i prognozowania. Wyobrażalne są wojny lokalne, nawet i w wielkiej skali, ale prowadzone za pomocą konwencjonalnych systemów uzbrojenia. Nie są możliwe wojny z zastosowaniem potencjałów nuklearnych. Zniszczenia dwu miast japońskich bombami atomowymi w 1945 roku zatarły się nieco w pamięci. Był to zresztą swoisty akord II wojny światowej, w której zginęło około 55 milionów ludzi[16]. W Hiroszimie zginęło około 78 tysięcy ludzi, a w Nagasaki - niespełna 24 tysiące. Oczywiste jest, że przez kilkadziesiąt lat mieszkańcy tych miast umierali na skutek napromieniowania. Pomimo to, ogrom strat II wojny światowej zdominował wydarzenia w tych dwóch nieszczęsnych miastach. Ponadto wydarzenia te miały miejsce na Dalekim Wschodzie i tragedię przeżyli tylko Japończycy. Awaria elektrowni (reaktora) atomowej w Czernobylu, wywołała

---

[16] Encyklopedia powszechna, t.4, s.705, PWN 1976.

wprawdzie tylko skażenie promieniotwórcze w rejonie jej rozmieszczenia i ograniczone opady promieniotwórcze w niektórych krajach europejskich, ale skutki psychologiczne były nader poważne. W części krajów europejskich zastosowano środki profilaktyczne. Czernobyl unaocznił wyraziściej w naszej części świata grozę broni jądrowej. Szacuje się, że USA i Rosja posiadają nadal po kilkanaście tysięcy ładunków jądrowych, w tym termojądrowe wielkiej mocy (mierzone w megatonach). Zwłaszcza te dwa państwa są zmuszone unikać totalnego konfliktu między sobą. Wielu ludzi nie zdaje sobie sprawy z tego faktu. Nawet konflikt ograniczony między posiadaczami broni nuklearnej nie może być brany pod uwagę. Nie ma racjonalnych argumentów aby sądzić, że starcie zbrojne między „olbrzymami" nie przerodziłoby się w zmagania totalne. Niektórzy eksperci odwołują się do casusu broni chemicznej w II wojnie światowej. Nie stosowano jej, ponieważ nie dawała szans na rozstrzygnięcie rezultatów wojny. Inaczej rzecz się ma z bronią jądrową. Wprawdzie wyhamowano programy kosmiczne, w których poczesne miejsce zajmowały systemy obrony przed atakami rakietowo-jądrowymi[17)], ale rywalizacja w tej dziedzinie nie została odrzucona [27, s. 214-229].

Przytoczone zostały ważkie fakty należące do dziedziny globalnych problemów wojny i pokoju. Było to konieczne. Bezpieczeństwo kuli ziemskiej zmusza do poniechania wojny totalnej. Powstał stan swoistego pata militarnego. Wobec realnego zagrożenia wzajemnym zniszczeniem, potencjalni przeciwnicy nie mogą kontynuować polityki za pomocą wojny.

Powyższe uwarunkowania spowodowały nieziszczenie nadziei krajów Europy Środkowo-Wschodniej w kwestii natychmiastowego przyjęcia ich do NATO. Znaleziono rozwiązanie pośrednie, nie zagrażające ponownym wywołaniem „zimnej wojny", którym jest „Partnerstwo dla pokoju". Natrętne próby zmiany biegu spraw geopolitycznych i militarnych w naszej części kuli ziemskiej mogą zniecierpliwić przyjaciół i przysporzyć

[17)] Amerykańska „Inicjatywa Obrony Strategicznej" - SDI (Strategic Defense Initiative).

źle nam życzących. Nasze nawyki nieliczenia się z uwarunkowaniami zewnętrznymi i wewnętrznymi, a także skłonność do skrajności w demonstrowaniu apatii są wielce szkodliwe. W państwach demokratycznych apolityczność armii stanowi zasadę. To jedna z powszechnie obowiązujących reguł. Funkcjonują też zasady, o których nie mówi się publicznie. W państwach demokratycznych wpływowi politycy nie głoszą własnych poglądów w kwestiach militarnych, lecz poglądy zweryfikowane. W toku weryfikowania poglądów i programowania polityki wykorzystywane są wojskowe systemy eksperckie. Wprawdzie aktualne jest twierdzenie Carla von Clausewitza, że wojna stanowi przedłużenie polityki, ale oczywiście nie polityki samobójczej. Armia ma udzielać politykom odpowiedzi dotyczących argumentów militarnych. Von Clausewitz nie wyrażał swojej opinii o polityce, lecz o wojnie. Nie widział więc potrzeby zajmowania się sprzężeniem zwrotnym, zachodzącym między polityką i wojną. Ściślej będzie wyrażone to sprzężenie, jeśli powiemy, że zdeterminowanie (wszechzwiązek) występuje w każdej działalności człowieka. W polityce i w sprawach militarnych również. Jesteśmy dumni ze swoich dziejów historycznych. W czasach, kiedy ościenne państwa tworzyły silne armie (XVIII wiek), u nas święciła triumfy „złota wolność szlachecka". Pierwsi w Europie stworzyliśmy światłą Konstytucję 3 Maja 1791 roku (druga w świecie po USA). W 1795 roku trzej sąsiedzi zlikwidowali państwo polskie (trzeci rozbiór). Powstania narodowe w latach 1831 i 1863 dały nam bohaterskie legendy, wytępiły najbardziej patriotycznych Polaków, dały pretekst zaborcom do pogłębiania niewoli. O dziejach późniejszych wspomniano wcześniej. W polityce dotyczącej spraw militarnych konieczny jest realizm. Przed podjęciem działań trzeba sobie odpowiedzieć na pytanie - jakie cele trzeba i można osiągać? Zaiste, romantycznie brzmiały niegdyś hasła „nie liczyć sił na zamiary". Tak postępując, można jedynie skazywać naród na stos ofiarny.

Rozdział podsystemów politycznego i militarnego państwa ma właśnie zapewnić temu drugiemu możliwość obiektywnego oceniania zagrożenia zewnętrznego,

możliwości obronnych kraju oraz formułowanie postulatów pod adresem władz państwa, w tym polityków. Czyniąc to za pomocą prognozowania eksperckiego, powinno się określać elementy zobrazowane na rysunku 2.3., a zwłaszcza:

1. Kto i jakiego charakteru zagrożenie stwarza dla państwa; prognozowane cele natury politycznej, ekonomicznej i wojskowej strony zagrażającej?

2. Jakie przyczyny inspirują zagrożenie i jakie istnieją możliwości ich eliminowania? Dopuszczalne granice kompromisu.

3. Hipotetyczny termin oraz możliwe formy (sposoby) przygotowań i zrealizowania zamiarów przez potencjalnego agresora.

4. Możliwości pozamilitarnego całkowitego uniknięcia lub chociażby zmniejszenia skali zagrożenia zewnętrznego państwa.

5. Potencjalnych sojuszników mogących mieć żywotne interesy w zawarciu porozumienia o wspólnocie obronnej.

6. Możliwości sił zbrojnych potencjalnego agresora (stałe, mobilizowane).

7. Prawdopodobne sposoby osiągania celów w okresie pokoju i wojny przez stronę zagrażającą.

8. Słabe strony potencjalnego agresora oraz możliwości ich wyzyskania w okresie pokoju i wojny.

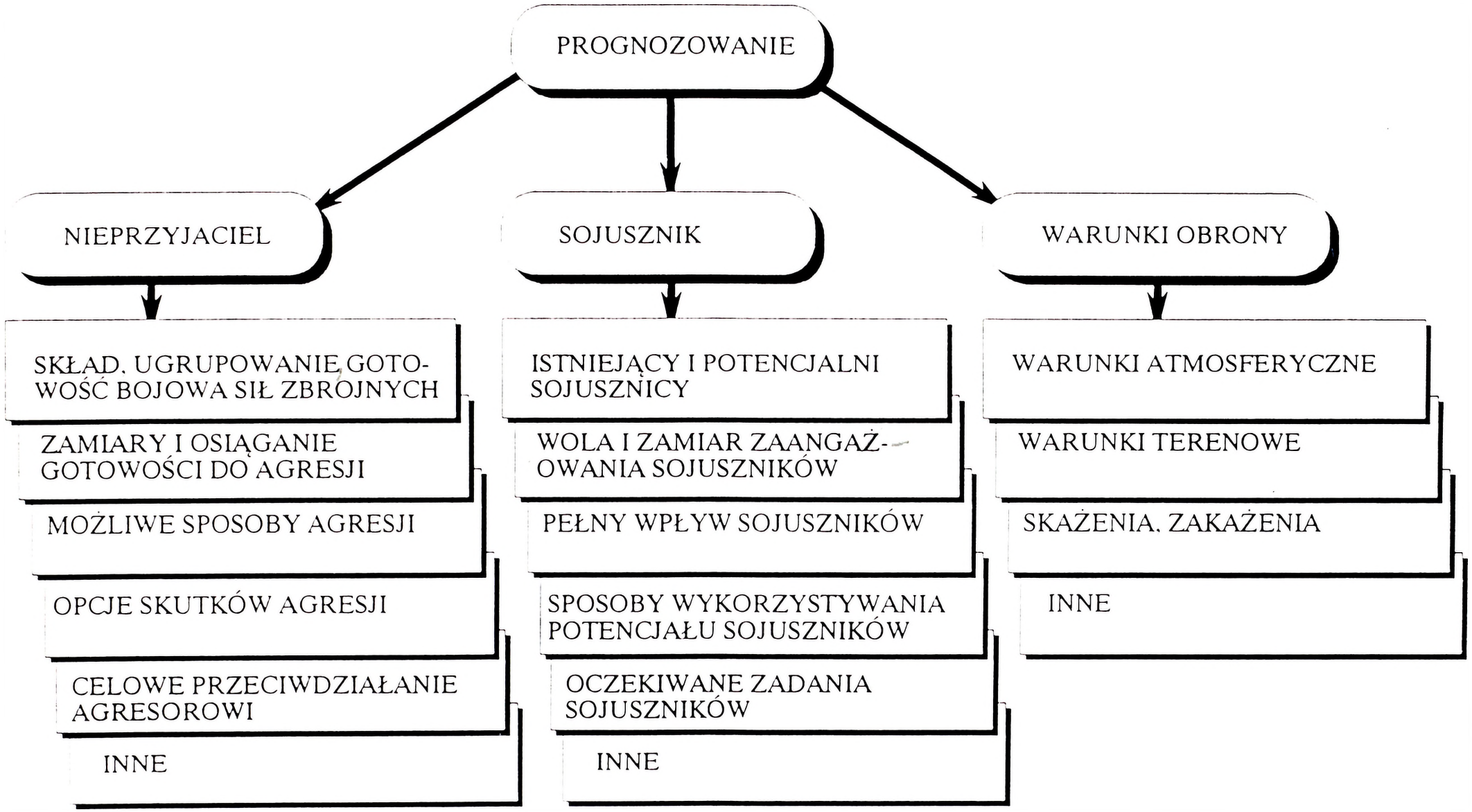
9. Możliwa pomoc wojskowa sojusznika (sojuszników) w okresie pokoju oraz zabiegi w celu jej uzyskania i racjonalnego spożytkowania.

10. Możliwe opcje zaangażowania sojusznika (sojuszników) w militarną obronę Polski.

11. Rezultaty wojny obronnej prowadzonej samodzielnie lub wspólnie z państwami sojuszniczymi.

12. Możliwe pozamilitarne formy oporu wobec agresora dysponującego zdecydowaną przewagą potencjału wojskowego.

Prognozowanie militarne nie powinno podlegać nastrojom politycznym,



Rys.2.3. Dziedziny prognozowania wojskowego

nacjonalistycznym i różnego rodzaju fobiom. Faktem jest, że już kilka pokoleń Polaków wzrusza się piękną i pełną determinacji mową ministra Spraw Zagranicznych wygłoszoną w sejmie 5 maja 1939 roku [30, s.291]. W parę miesięcy później ponieśliśmy klęskę. Czy rzeczywiście nasza postawa nie miała alternatywy? A może należało rozważyć, w ramach różnych prognoz, grę na zwłokę? Dać czas sobie i sojusznikom na lepsze przygotowanie do wojny? Pozwolić Niemcom wybudować kolej i autostradę, żeby posiąść ją po 1945 roku? Prawdopodobnie Czesi ulegali naciskom Hitlera w 1938 i 1939 roku nie pod wpływem strachu, lecz wyboru mniejszego zła. Jak na tym „wyszli"? Była o tym mowa wcześniej.

W etapie prognozowania możliwych opcji dowolnych zdarzeń i naturalnego biegu spraw wielkich oraz codziennych, obowiązkiem decydentów jest analizowanie całej złożoności przyczyn, uwarunkowań i skutków. Wróćmy raz jeszcze do tragicznych dziejów powstania warszawskiego. Czy wolno było decydentom analizować tylko odległość dzielącą Armię Czerwoną od Warszawy? Opcję zagłady miasta należało rozważyć raczej w pierwszej kolejności. Czy wysłuchano ekspertów? Opisy wydarzeń nie zawierają odpowiedzi pozytywnej. Być może, wysłuchanie opinii ekspertów wolnych od emocji uchroniłoby od podjęcia tragicznej w skutkach decyzji. A może nie chciano znać ekspertyz podważających dążenie dowództwa? Dowódcy i żołnierze powstania mieli prawo walczyć do ostatka. A czy mieli prawo „skazywać" ludność cywilną na śmierć i cierpienia? Ofiary cywilne były dziesięciokrotnie większe od wojskowych. A kto zliczył zmarłych, wypędzonych i wywiezionych z Warszawy po upadku powstania?[18)].

W działalności lekarzy, ich diagnozach i postępowaniu leczniczym, można zauważyć etapy: rozpoznania choroby (diagnozowania) i prognozowania jej przebiegu, z uwzględnieniem cech osobniczych, oraz decydowania (ordynowania, programowania)

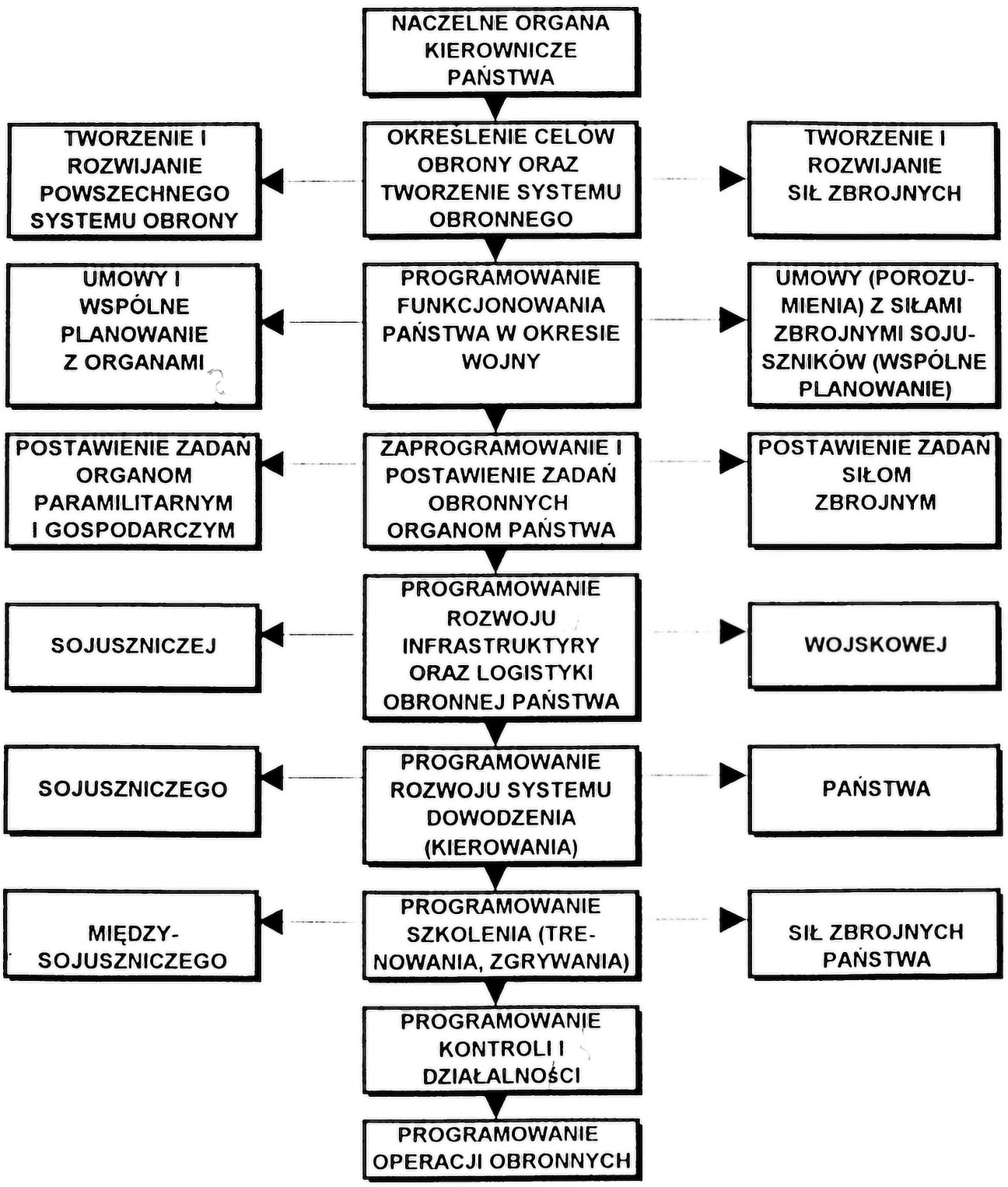
[18)] W ciągu 63 dni walki poległo i zginęło około 16-18 tysięcy powstańców, około 250000 było rannych. Niemcy zabili ponad 150000 cywilnych Warszawiaków. W czasie powstania i po jego upadku Niemcy zniszczyli około 75% zabudowy Warszawy... [Encyklopedia powszechna, t.3, s.672, PWN 1975].

o leczeniu. W tej, tak subtelnej, dziedzinie działalności ludzkiej, systemy komputerowe stosowane są szeroko w procesie badań pacjentów (rozlicznych analiz). Znane są leki eliminujące schorzenia, a mimo to lekarz jako ekspert decyduje ostatecznie o leczeniu. Czy będzie robił to w przyszłości komputer? Kategoryczne negacje lub aprobaty budzą zastrzeżenia. Obiegowe „nigdy", „zawsze" lub „na pewno" nie są pojęciami stosowanymi w środowiskach ekspertów. Zwłaszcza bez uściślenia czego (kogo) dotyczy przeczenie lub aprobata, jakiej perspektywy czasu i jakich uwarunkowań.

W procesie prognozowania prowadzonego za pomocą systemów eksperckich powinno się analizować możliwe wszystkie opcje, szeregować je w kolejności poziomu prawdopodobieństwa zaistnienia i, jeśli to konieczne, wskazać jedną prognozę. Wówczas pomija się w dalszym postępowaniu inne opcje, ale ma się świadomość ich istnienia. To zabezpiecza przed zaskoczeniem, umożliwia szybsze przestawienie się do odmiennego działania. Wyklucza też uchylanie się od odpowiedzialności przez decydenta, ale daje mu szanse wykazania, że kierował się prognozą najlepszą z możliwych.

Programowanie wojskowe obejmuje tworzenie planów przygotowania państwa do obrony oraz jej prowadzenia, przynajmniej w początkowym okresie wojny. Strona broniąca się, nawet dysponująca współmiernymi siłami, nie uzyskuje dominacji i nie jest w stanie narzucać wcześniej zaplanowanych reguł starcia zbrojnego. Ten atrybut z reguły należy do agresora. On wybiera czas, kierunki uderzeń i sposoby działań bojowych. Wcześniej rozpoznaje najsłabiej bronione rubieże oraz określa newralgiczne obiekty paraliżujące manewr i obronę zaatakowanego. Na przykład niszczenie mostów i przepraw na rzekach oraz ważnych węzłów drogowych może skutecznie izolować broniony obszar od dopływu sił z głębi kraju. Dlatego też prognozy formułowane w dziedzinach przedstawionych na rysunku 2.3. stanowią punkt wyjścia do programowania obronnego. Celem programowania wojskowego jest określenie działań zapewniających racjonalne przygotowanie kraju, w tym jego sił zbrojnych, do odpierania

agresji. Truizmem byłoby opisywanie złożoności tegoż programowania. Tym niemniej, konieczne jest podkreślenie, iż programowanie to tylko w odniesieniu do posiadanych sił własnych bazuje na faktach. Większość komponentów wykorzystywanych w tym procesie określona jest w formie ekspertyz. Przykładem tego jest pierwsza czynność, wykazana na rysunku 2.4., która polega na precyzowaniu celów obrony.



Rys.2.4. Schemat programowania obrony kraju

Celem istnienia sił zbrojnych niemal wszystkich państw świata jest obrona przed zagrożeniem zewnętrznym. Jest to swoista definicja. W rzeczywistości bywa różnie. Jeśli potencjalny agresor dysponuje przewagą militarną, wyrazem czego jest przewaga ekonomiczna, to bezsensem byłoby programować rozgromienie agresora i utrzymanie swych ziem. Możliwe jest dokonanie tego we współdziałaniu z sojusznikiem (sojusznikami) i to pod warunkiem zaangażowania wystarczającego potencjału militarnego.

Używanie określeń w rodzaju „wystarczający poziom obronności", jest zręcznym unikaniem ujawniania niekorzystnej rzeczywistości. W programowaniu obrony kraju konieczne jest jednoznaczne precyzowanie celów, na przykład w brzmieniu: nie dopuścić do utraty ziem; posiadanymi siłami obrony zniechęcić potencjalnego agresora do wszczęcia wojny; zadać potencjalnemu agresorowi straty podważające celowość agresji; powstrzymać agresora w bitwie granicznej, do czasu przyjścia z pomocą sojuszników.

Cele obrony muszą być adekwatne do możliwości militarnych państwa. Nawet państwo słabe ekonomicznie i militarnie stosuje groźne siły odstraszania. Pierwszym państwem, które zdecydowało się posiadać narodowe siły odstraszania, była ekonomicznie silna Francja. Dotychczas nie dokonał podobnego wyczynu żaden kraj mały lub średni. Wieści o izraelskich bombach atomowych oraz o budowie takowych przez Iran, Pakistan lub Koreę Północną, traktowane są jako niewiarygodne. Natomiast przebieg wojny prowadzonej przez państwa sprzymierzone przeciwko Irakowi zwrócił uwagę na szereg nowych aspektów. Otóż lotnictwo Sprzymierzonych obezwładniło całkowicie silnie uzbrojoną i wcześniej zaprawioną w walkach armię iracką. Natomiast nieliczne rakiety irackie (SCUD), wystrzelone na Rijad i Tel Aviw, wywołały niemałe napięcia psychologiczne mieszkańców tych stolic. Wszyscy sąsiedzi Polski posiadają

elektrownie jądrowe. Stworzenie sił zdolnych rozbić wybrane elektrownie mogłoby stanowić efektywny oręż odstraszania. Ten i podobne dylematy powinny być rozstrzygane w procesie programowania celów obrony i przyszłego systemu obronnego państwa. Nie można rozwiązywać racjonalnie tych problemów bez określania czasu trwania wojny obronnej. Spotykane są różne zdania, z których dwa zasługują na szczególną uwagę. W myśl pierwszego, ewentualna wojna obronna osiągnęłaby finał w ciągu kilku dni (5-7 dób). Przeciwnicy tej hipotezy obliczają czas hipotetycznej wojny obronnej na kilka miesięcy i dłużej. W pierwszym wypadku nie wchodziłoby w rachubę przestawianie gospodarki narodowej na „stopę" wojenną, a dalsze utrzymywanie „wojennych" ciągów produkcyjnych (rezerwowych) należałoby uznać za bezcelowe. Czy tak ważkie sprawy nie powinny być poddane szerokim badaniom eksperckim? Czy były prowadzone? Metoda jest względnie nowa, wobec tego dotychczas w tej problematyce nie miała zastosowania.

Tworzenie i utrzymywanie systemu obronnego państwa powinno być harmonizowane z celami obrony. Między tymi komponentami istnieje sprzężenie zwrotne, ale oba warunkowane są możliwościami ekonomicznymi państwa. Pochodną ekonomiki stanowi wydolność militarna. W wyniku konfrontacji potrzeb obronnych z możliwościami ich zaspokajania, określa się parametry ilościowo-jakościowe systemu obronnego. Budżet wydzielany na obronę, nawet w państwach bogatych, jest zwykle niższy od oczekiwanego przez jego realizatorów. Dlatego też trafne wskazywanie priorytetowych do finansowania dziedzin systemu obronnego państwa, stanowi jeden z najważniejszych problemów, kwalifikujący się do rozwiązywania z wykorzystaniem systemów eksperckich. Analogicznie rzecz się ma z planowaniem funkcjonowania państwa w okresie wojny. Dwudziesty wiek upłynął w atmosferze wojen totalnych[19].

---

[19] „Ze względu na użyty potencjał sił rozróżnia się wojny ograniczone i nie obejmujące wszystkich sił ludzkich i materialnych walczących stron i wojny totalne, podczas których strona włącza i podporządkowuje realizacji swoich celów wszystkie siły ludzkie, materialne i moralne, jakimi dysponuje, a w niektórych wypadkach zmierza do zniszczenia nie tylko sił zbrojnych przeciwnika, lecz i całego

Były nimi dwie wojny światowe w pierwszej połowie wieku, a później lokalne, także mające znamiona wojen totalnych. Przygotowania do obrony państwa muszą zapewnić jego funkcjonowanie nawet w wypadku narzucenia przez przeciwnika właśnie wojny totalnej, która może być rozstrzygnięta w krótkim czasie. Sztuka planowania polega na precyzyjnym określaniu funkcji wszystkich organów państwowych, w tym sił zbrojnych, planowaniu przedsięwzięć chroniących ludność oraz całą infrastrukturę kraju. Kraj posiadający sojuszników (członek paktu obronnego) planuje swoje przedsięwzięcia obronne w porozumieniu z państwami wspólnoty obronnej. Aby móc korzystać ze wsparcia sojuszników, trzeba przewidywać także działania odwrotne. Wspieranie wzajemne może obejmować szeroki wachlarz sił i środków. Najistotniejszym jest wspólna obrona całych sił zbrojnych lub ich części (na przykład sił powietrznych), wsparcia techniczne (uzbrojenie) oraz szeroko pojmowane wspieranie logistyczne.

W procesie programowania funkcjonowania państwa podczas wojny, samodzielnie lub w ramach wspólnoty obronnej, rozstrzygane są główne założenia strategiczne obrony, planowane warianty obrony, stosownie do możliwych zagrożeń, oraz tworzone koncepcje użycia posiadanego potencjału do obrony kraju. W wyniku powyższego, możliwe jest dokonanie kolejnego, wielce ważnego aktu, którym jest zaprogramowanie zadań obronnych organom państwa, szczególnie siłom zbrojnym i organom paramilitarnym. Formułowanie zadań jest złożonym procesem intelektualnym, a przydatność w tej działalności komputerowych systemów eksperckich niewątpliwa. Formułowanie zadań wymagać będzie odmiennych programów komputerowych. W tym wypadku nie chodzi o analizowanie i ocenianie problemów przygotowania do wojny, lecz o decydowanie, które jest niewątpliwie problemem specyficznym.

---

napadniętego narodu wszelkimi dostępnymi środkami i metodami" [Mała encyklopedia wojskowa, t.3, s.494, Wyd. MON 1971].

Dotychczas skomentowane zostały trzy postulowane etapy programowania obrony kraju. Cztery kolejne etapy postrzega się jako rozwinięcie zadań sformułowanych w etapie trzecim. Programowanie rozwoju infrastruktury oraz logistyki obronnej państwa obejmuje gigantyczne zadania, niektóre realizowane przez kilka pokoleń. Część ekspertów wyraża opinię, że Niemcy rozwinęli imponująco już przed II wojną światową sieć dróg kołowych i kolejowych, inspirując się względami militarnymi. Przeciwnicy tej opinii powołują się na dążenia Hitlera do zatrudnienia milionowych rzesz bezrobotnych. Prawdziwa jest zapewne opinia, iż rozwój infrastruktury kraju powinien łączyć potrzeby ekonomiczne i obronne. Zdecydowana przewaga równoleżnikowych ciągów komunikacyjnych Niemiec była ilustracją dominacji względów militarnych. Doświadczenia wojny na dwa fronty z lat 1914-1918 zapadły głęboko w psychikę Niemców. Rzeczywiście, stworzyli oni do drugiej wojny światowej infrastrukturę nie mającą równej w Europie. W czasach współczesnych inne wymagania stawiane są przed infrastrukturą i logistyką obronną kraju. Drogi i obwodnice wokół miast to dokonania elementarne. Znacznie trudniejsze jest zapewnienie przepraw przez przeszkody wodne, w przewidywaniu skutecznego niszczenia mostów stałych. Schrony dla sprzętu bojowego i siły żywej, racjonalne usytuowanie składów sprzętu i materiałów, środki szybkiego przemieszczania wojsk i zaopatrzenia, stanowią zadania elementarne. Warto wspomnieć, że grupa operacyjna generała Franciszka Kleeberga stoczyła ostatnią bitwę września 1939 roku pod Kockiem w drodze do składów amunicji zlokalizowanych w rejonie Dęblina. Inne wykrwawione oddziały zaopatrywały się same, na przykład ze składów w Palmirach. Z doświadczeń 1939 roku wynika, że racjonalne rozmieszczenie podsystemów logistycznych w okresie pokoju nadal stanowi obiektywną konieczność. Izolacja pola bitwy od dopływu świeżych sił oraz zaopatrywania w środki bojowe i materiałowe wojsk stanowi jedno z pierwszoplanowych zadań realizowanych we współczesnych operacjach wojskowych. Tak było w przeszłości i będzie w przyszłości.

Jeszcze w II wojnie światowej nawet liczne dywizje mogły walczyć otrzymując około 200 ton zaopatrzenia na dobę. W czasach współczesnych norma ta jest przynajmniej pięciokrotnie wyższa. Pułk lotniczy, liczący 36 samolotów, zużywał w drugiej wojnie światowej 50 do 100 ton paliwa dziennie (5 lotów na samolot). Współczesne pułki przy tych samych stanach samolotów zużywają 300 do 500 ton paliwa. Zbyt dużo kosztują współczesne podsystemy uzbrojenia (samoloty, rakiety), aby można było dopuścić do ich bezczynności z powodu braków w zaopatrzeniu technicznym i materiałowym. Ranga programowania logistycznego niepomiernie wzrasta w warunkach sojuszniczych przygotowań obronnych i podczas ewentualnej wojny koalicyjnej. Wystarczy uzmysłowić sobie skalę przygotowań logistycznych do wojny przeciwko Irakowi. Około sześciu miesięcy trwały przygotowania stosunkowo niewielkiego teatru działań wojennych. Przy tym czyniły to potęgi ekonomiczne, z supermocarstwem na czele.

Skoro jesteśmy przy przykładzie wojny nad Zatoką Perską, to warto powołać się na jeszcze jeden aspekt programowania militarnego. Otóż Sprzymierzeni poprzedzili pierwsze uderzenia lotnicze radioelektronicznym obezwładnianiem systemu dowodzenia obrony Iraku. Od początku wojny siły zbrojne Iraku pozbawiono dowodzenia. W takim stanie nawet dobre wojska stają się bezwartościowym tłumem. Odwieczna zasada centralizacji dowodzenia bywa współcześnie zawodna. Zdolność do autonomicznych działań oddziałów i związków wojsk jest koniecznością. Niezależnie od tego, muszą być przygotowane wieloukładowe podsystemy łączności i stanowiska dowodzenia, uodpornione na zakłócenia i oddziaływanie ogniowe, a ponadto zdolne do spełniania swoich funkcji bez konieczności ciągłej pracy. Programowanie nowoczesnych podsystemów dowodzenia musi uwzględniać tworzenie odpowiednich środków technicznych. Na przykład nieuchronność sytuowania potężnych konstrukcji stacji radiolokacyjnych na wzniesieniach, czyni je nader łatwo wykrywalnymi oraz narażonymi

na zniszczenie. Ingerencja w proces projektowania sprzętu jego przyszłych użytkowników musi mieć podstawy merytoryczne.

Przytoczony przykład jest jaskrawy. Nawet bez stosowania metod eksperckich wiadome jest jakie cechy demaskujące posiadają radiolokatory. Istnieje jednak wiele podsystemów uzbrojenia, których nie da się zaprojektować właściwie bez rozwiązania złożonych problemów natury techniczno-taktycznej.

W nakładach na tworzenie potencjału obronnego około 25% budżetów wydają armie na szkolenie kadrowych sił zbrojnych. W ostatnich latach nasze siły zbrojne mają niekorzystną strukturę wydatków. Jest ona swoiście odwrócona. Stan ten uważany jest za przejściowy. Nawet w korzystnych czasach optymalizowanie szkolenia wojsk jest konieczne, a zarazem trudne. Wzajemne naśladownictwo zajmuje poczesne miejsce. Śmieszne jest, kiedy liliput usiłuje naśladować goliata. Na przykład USA, mające geopolityczne interesy, muszą szkolić załogi samolotów nawet w przelotach nad oceanami. Ich piloci osiągają nalot około 240 godzin rocznie. W ciągu około dwudziestoletniej służby tacy piloci osiągają do 5000 godzin nalotu. Oznacza to zużycie do 10000 ton paliwa. Czy my mamy wzorować się na USA? Oczywistym jest, że nie! Musimy ustalać wszelkie normy własne, warunkowane poziomem zasobności kraju, ale też wymaganiami zapewniającymi racjonalny stan zdolności bojowej. Przestrzeń Polski, a zwłaszcza ewentualny obszar wojny, są tak małe, że wynik starcia byłby rozstrzygnięty w krótkim czasie. Wobec tego planowanie szkolenia wojsk i kształcenia kadr dowódczych dla potrzeb samodzielnej wojny obronnej Polski jest działalnością daremną. W wypadku przynależności Polski do NATO sytuacja uległaby zmianie. Wówczas szkolenie i kształcenie w trybie wojennym mogłoby odbywać się nawet poza terytorium kraju. Problem ten ilustrują dzieje polskich sił zbrojnych w latach 1939-1945.

Przynależność do wspólnoty obronnej stwarza konieczność wdrażania wojsk do współdziałania międzynarodowego. W latach dziewięćdziesiątych XX wieku podjęliśmy

kroki przygotowawcze. Nauka języków, w tym angielskiego, jako języka dominującego (współdziałania), zgrywanie sztabów oraz ćwiczenia w zakresie współdziałania wojsk mogły być rozpoczęte przed wstąpieniem do NATO (lub wspólnoty obronnej UE, jeśli nie będzie NATO). Po zintegrowaniu, skala tych przedsięwzięć szkoleniowych musi niepomiernie wzrosnąć. Doświadczenia z minionej epoki nie mogą być przenoszone w przyszłość. Delegacje państw zachodnich wizytujące polskie siły zbrojne dostrzegają u nas szereg istotnych odmienności. Przykładem tego jest odmienna treść i forma rozkazodawstwa wojskowego. W siłach zbrojnych NATO przełożony precyzuje cele podwładnemu i przydziela środki do ich osiągnięcia. U nas podwładny ma z reguły narzucany sposób wykonywania zadań i nastawia się na bierne, ale „wierne" wykonywanie otrzymanego zadania. Taki stan eliminuje inicjatywę dowódców kolejnych szczebli dowodzenia, tych którzy najlepiej znają sytuację i własne możliwości. W programowaniu szkolenia trzeba będzie uwzględniać eliminowanie nawyków wstecznych i wprowadzać nowe elementy. Nie wszystko będzie najprawdopodobniej rzeczywiście absolutnie doskonałe. Tym niemniej, natura sił zbrojnych przesądza o konieczności ich unifikacji, standaryzacji i wręcz integracji w sferze dowodzenia, taktyki i strategii (państwa zachodnie sztukę wojenną dzielą na taktykę i strategię). Ważkim problemem szkoleniowym pozostanie ujednolicenie słownictwa i definicji.

Kontrola i analiza dokonań w sferze obronności państwa stanowi istotną sferę działalności. Kontrolowani mają z reguły negatywny stosunek do tych funkcji, nawet ci, którzy zyskują wysokie uznanie dla swych dokonań. Przyczyną powszechnej niechęci do organów kontrolujących, a są nimi zwykle przełożeni, bywają błędy metodyczne raczej jednostkowe, ale szeroko nagłaśniane. Niedoświadczeni przełożeni zapominają, że kontrolując podwładnych powinni dociekać przede wszystkim ułomności własnego dowodzenia, które wywołało niezadowalające skutki na niższych szczeblach. Badać nie tylko skutki, ale przede wszystkim przyczyny niekorzystnych zjawisk i ustalać wnioski do

poprawy działania własnego i podwładnych. Funkcje kontroli są rozległe i znane. Podkreślenie tylko klasycznych patologii służy zwróceniu uwagi na problem. Spotyka się opinie ekspertów uzasadniających, że funkcja kontrolna spełniana dobrze przez wyższe szczeble dowodzenia, jest domeną ich działalności. W takim postawieniu problemu dostrzega się pewną skrajność. Jeżeli jednak kontrola łączy się z udzielaniem pomocy podwładnym w pokonywaniu trudności przerastających ich kompetencje, to sceptycyzm co do roli kontroli maleje.

Programowanie tworzenia i przygotowania do wojny systemu obronnego państwa (samodzielnie lub w ramach koalicji) ma charakter ciągły, ponieważ składowe systemu obronnego ulegają permanentnym zmianom w ramach kraju, w odniesieniu do sojuszników, a ponadto następują zmiany w obozie ewentualnych przeciwników. Ogół tych czynności nazywamy „etapem przygotowań do wojny obronnej". Po tym etapie może zaistnieć drugi „etap wojny obronnej". Pierwszy etap w każdym państwie realizowany jest praktycznie, drugi tylko wówczas, kiedy dopuści się agresji jakiś sąsiad. Przynależność do sojuszu może spowodować potrzebę udziału sił zbrojnych w działaniach poza terytorium własnego państwa. Stosowanie systemów eksperckich podczas działań wojennych stymulują warunki tego szczególnego stanu, o czym traktuje kolejny punkt.

2.5. Systemy eksperckie w przygotowywaniu wojsk do działań bojowych

Z chwilą rozpoczęcia wojny obronnej, wobec agresji nieprzyjaciela, broniący się przystępuje do realizacji wcześniej opracowanych planów i zadań postawionych w okresie pokoju siłom zbrojnym, cywilnym organom państwa oraz instytucjom paramilitarnym. Ze względu na konieczność utrzymania w tajemnicy zamiarów (planów)

obrony, zadania w postaci dyrektyw i rozkazów dowództwa i organa państwa przechowują zwykle w miejscach odpowiednio strzeżonych. Dokumenty te adresaci mają prawo otworzyć w chwili wydania takiej dyspozycji przez przełożonego (na specjalny sygnał) i wykonać zadania tam sprecyzowane. Wcześniej, w okresie pokojowego szkolenia, do realizacji tych zadań wykonawcy są wdrażani częściami. W ten sposób można do niezbędnego minimum ograniczyć liczbę osób wtajemniczonych.

Odwieczne doświadczenia dowodzą, że prognozowane wcześniej scenariusze wojny odbiegają od rzeczywistości wojennej. Czy także scenariusze opracowane za pomocą komputerowych systemów eksperckich? W tym względzie nie ma doświadczeń. Zarozumialstwem byłoby absolutyzowanie znaczenia systemów eksperckich. Trzeba liczyć się z tym, że zawsze plany obronne tylko w pewnym stopniu sprawdzą się w rzeczywistości wojennej i trzeba je będzie aktualizować. Wynika z tego wniosek oczywisty. Systemy eksperckie, które służyły pomocą przy sporządzaniu planów obronnych, powinny umożliwiać ich korekty. Wprowadzając dane rzeczywiste (sytuację operacyjno-taktyczną), zapewni się komputerową autokorektę.

W skali państwa i jego sił zbrojnych prowadzi się jedną operację obronną, trwającą kilka dni, tygodni, miesięcy i wyjątkowo dłużej (kampanię wojenną). W ramach tego związki operacyjne wojsk mogą prowadzić szereg operacji obronnych (bitew). Związki taktyczne i oddziały wojsk - szereg walk w ramach obrony stałej, manewrowej, kontrataków czy uderzeń uprzedzających. Oddziały i związki taktyczne otrzymują zadania do stoczenia konkretnej walki, zwykle na okres doby, z sukcesywnym precyzowaniem zadań na kolejne dni. Im wyższy szczebel dowodzenia, tym jego zadanie jest precyzowane na czas dłuższy, a nawet bywa określane tylko celem, bez precyzowania czasu wykonania.

Z powyższego wynika wniosek, że systemy eksperckie mogą mieć zastosowanie w przygotowaniu wojsk do walki głównie na wyższych szczeblach dowodzenia, ponieważ one dysponują odpowiednimi sztabami, czasem, ale też mają dużą gamę rozwiązywanych problemów decyzyjnych. Bez względu na szczebel dowodzenia schemat podejmowania decyzji o walce (operacji) jest podobny - rysunek 2.5.

Na rysunku zauważyć można obszary zastosowań systemów eksperckich - głównie w dziedzinie oceny sytuacji, i to wszystkich jej składowych, a szczególnie w ocenie nieprzyjaciela, sił własnych i warunków prowadzenia obrony (walki). Wątpliwości może budzić eksperckie ocenianie sił własnych, jeśli ktoś ocenę stron sprowadza do porównania ilościowego. Kiedyś liczono ile strony mają batalionów i dział. W działaniach współczesnych porównania ilościowe nie stwarzają podstaw do podejmowania racjonalnych decyzji. Systemy uzbrojenia stron mogą różnić się zasadniczo. Na przykład, są w użytku samoloty myśliwskie dysponujące zasięgiem pokładowych stacji radiolokacyjnych 20-30 kilometrów i rakietami powietrze-powietrze o zasięgu zaledwie kilkunastu kilometrów. Najnowocześniejsze myśliwce mogą wykrywać cele powietrzne w odległości 200-400 kilometrów i razić równocześnie cztery cele powietrzne z odległości około 100 kilometrów. To przykład skrajnych rozpiętości jakościowych, ale one realnie istnieją. Zasadne jest więc pytanie, jak liczyć jakościowe stosunki sił? Czym kierować się przy stawianiu zadań i określaniu taktyki ich wykonywania? Na podstawie czego formułować zadania? Właśnie do rozwiązywania tych problemów w dynamice wojny niezbędne jest wykorzystywanie komputerowych systemów eksperckich. Eliminując przypadkowość podziału sił, można uzyskać ich racjonalne użycie bojowe. W takich warunkach, możliwe będzie nie tylko organizowanie walk i bitew obronnych, ale także ocenianie skuteczności działań kolejnych szczebli dowodzenia. Jeśli nawet wynik analiz komputerowych przygotowywanej operacji wykaże niechybną przegraną wojsk własnych, to możliwe będzie przynajmniej

PRZEŁOŻONY

ZADANIE

DZIAŁALNOŚĆ DOWÓDCY		DZIAŁANIE SZTABU
1	**ANALIZA ZADANIA** 1.Sytuacja taktyczna (operacyjna) 2.Zamiar działania przełożonego 3.Otrzymanie zadania (cel działań, zadanie lub instrukcja) 4.Współdziałający 5.Kalkulacja czasu **Rezultaty analizy zadania** 1.Zamiar wykonania zadania 2.Wytyczne (dla sztabu) do opracowania zarządzenia wstępnego 3.Wytyczne do przygotowania meldunków 4.Wytyczne do planowania działań	1. Uaktualnienie informacji o stanie sił własnych 2. Aktualizowanie informacji o sąsiadach 3. Opracowanie zarządzenia wstępnego
2	**OCENA SYTUACJI** (WYSŁUCHANIE MELDUNKÓW SZTABÓW) NIEPRZYJACIEL: 1.Wojska lądowe 2.Siły powietrzne 3.Siły morskie (jeśli zadania nad Bałtykiem) 4.Obiekty działań (powietrzne, lądowe, morskie) WOJSKA WŁASNE: 1.Wojska lądowe 2.Marynarka wojenna 3.Podległe wojska (ZT, oddziały, inne) 4.Sąsiedzi 5.Siły wsparcia 6.Zabezpieczenie przez przełożonego WARUNKI DZIAIAŃ: 1.Warunki terenowe 2.Warunki atmosferyczne 3.Czas (pora doby do działań) 4.Sytuacja elektroniczna w eterze 5.Sytuacja ekologiczna i zagrożenie skażeniami	4.Przygotowanie referatów meldunków 5.Wszczęcie kalkulacji niezbędnych do planowania działań 6.Składanie meldunków 7.Planowanie działań podległych wojsk 8.Informowanie podwładnych 9.Opracowanie dokumentów do meldowania decyzji przez dowódcę
3	**PODJĘCIE DECYZJI**	
4	**MELDOWANIE DECYZJI PRZEŁOŻONEMU** 1. Wnioski z oceny nieprzyjaciela i obiektów działania (prognoza działań) 2. Zamiar (koncepcja) wykonania zadania 3. Organizacja dowodzenia i współdziałania 4. Zabezpieczenie działań 5. Prośby do przełożonego (ewentualne)	10.Zabezpieczenie meldowania decyzji przez dowódcę 11.Opracowanie dokumentów rozkazodawczych (rozkaz bojowy,plany, komunikaty)

5 POSTAWIENIE ZADAŃ PODWŁADNYM

1. Nieprzyjaciel (w części dotyczącej podwładnych) w tym obiekty działań (niszczenia)
2. Informacja o zadaniu, które otrzymał stawiający zadanie (ZT, oddział) na tle zadania przełożonego
3. Zamiar wykonania zadania (myśl przewodnia)
4. Zadania podwładnym (po słowie "ROZKAZUJĘ")
5. Współdziałanie
6. Zabezpieczenie działań
7. Dowodzenie i nakazane meldunki

12. Zabezpieczenie postawienia zadań (przekazanie rozkazów dowódcy)

13. Przekazywanie podwładnym informacji zapewniających pełne wykonanie rozkazów dowódcy

14. Uzgodnienie współdziałania z sąsiadami i złożenie propozycji dowódcy do opracowania planu współdziałania

6 POMOC PODWŁADNYM I KONTROLA PRZYGOTOWANIA DO WALKI

1. Organizacja walki (operacji)
2. Organizacja współdziałania
3. Zabezpieczenie
4. Kontrola przygotowania do działań podwładnych

Wysłuchanie i zatwierdzenie decyzji podwładnych

15. Wykonanie zadań w zakresie zabezpieczenia działań bojowych

7 DOWODZENIE PODWŁADNYMI PODCZAS DZIAŁAŃ

1. Śledzenie przebiegu działań nieprzyjaciela i wojsk własnych
2. Wspierane walki podwładnych
3. Korygowanie pierwotnych decyzji w obliczu nieprzewidzianych okoliczności
4. Kontrolowanie i egzekwowanie nakazanych działań

16. Gromadzenie informacji o przebiegu walki (operacji) i meldowanie dowódcy

17. Wymiana informacji z sąsiadami

8 MELDOWANIE O WYKONANIU ZADANIA

1. Kto, kiedy, w jakim stopniu wykonał nakazane zadanie (zadania)
2. Straty własne i nieprzyjaciela
3. Stan podległych wojsk po walce (wykonaniu zadania), gotowość do kolejnych działań

18. Sporządzenie pisemnych meldunków o rezultatach działań i stanie podległych wojsk

19. Ustalenie stanu ilościowo-jakościowego podległych wojsk i gotowości do dalszych działań (położenia). Meldowanie dowódcy

ZADANIE

KOLEJNE

Rys.2.5. Schemat podejmowania decyzji i stawiania zadań przed walką (operacją)

odpowiednio wczesne zapobieżenie pośrednim skutkom takiego rozwoju rzeczywistości wojennej.

Wspomniano, że na szczeblach taktycznych nie ma współcześnie warunków do stosowania komputerowych systemów eksperckich w przygotowaniu wojsk do walki, z wyjątkiem związków taktycznych lotnictwa. Samoloty tych ostatnich w składzie małych grup taktycznych, a nawet pojedynczo, mogą wykonywać zadania nad przestrzenią setek tysięcy kilometrów kwadratowych. Konieczne jest w takich przypadkach analizowanie i ocenianie rozlicznych uwarunkowań, zależnych od różnych rodzajów wojsk własnych i, przede wszystkim, od nieprzyjaciela. Nawet ewentualne funkcjonowanie systemu eksperckiego w sztabie związku taktycznego lotnictwa nie oznacza załatwienia problemu, bowiem musi istnieć dopływ szerokiego zbioru informacji ogólnych, co na tym szczeblu nie jest praktycznie osiągalne. To stwierdzenie można rozpatrzyć na przykładzie. Siły zbrojne Sprzymierzonych przygotowały kampanię przeciwko okupantowi irackiemu (zagarnięcie Kuwejtu) posiadającemu powierzchnię ziem około 435 tysięcy km^2. Sprzymierzeni, w liczbie 29 państw[20)], wydzielili około 2500 samolotów i 2200 śmigłowców, ponadto niespełna półmilionową armię lądową i silną flotę (operowało siedem lotniskowców). Czy w takiej sytuacji skrzydła lotnicze (dywizje), a nawet wyższe związki mogły programować nieskrępowanie swoje działania bojowe? Jest to pytanie retoryczne. Programowanie działań lotnictwa z lotnisk lądowych i lotniskowców, uzgadnianie z wojskami lądowymi, obroną powietrzną i marynarką wojenną różnych państw musiało odbywać się na najwyższym szczeblu dowodzenia (sztab gen. Szwarzkopfa). Dodać trzeba, że siły Sprzymierzonych ugrupowane były na powierzchni lądowo-morskiej pięciokrotnie większej od Iraku. Trudno sobie wprost wyobrazić, aby możliwe było uzgadnianie działań bojowych „wszystkich ze wszystkimi". Centralizacja programowania działań, dobrze pojęta, nie eliminuje inicjatywy niższych

---

[20)] 11 państw wydzieliło samoloty i tylko 6 państw śmigłowce.

szczebli dowodzenia. Postulat ten spełnić można programując centralnie podział obiektów działań, osie tras (nie trasy lotu), przedziały wysokości, terminy (czasy) operowania w określonych obszarach powietrznych. Zagadnienia te mają niezwykle doniosłe znaczenie w działaniach sojuszniczych. Wówczas sojuszniczy system dowodzenia musi zdominować podsystemy narodowe, dla dobra wszystkich. Trudno też sobie wyobrazić, aby każdy członek wspólnoty obronnej mógł wyznaczać sobie zadania i odczuwał „alergię" na tle konieczności podporządkowania się wspólnemu dowództwu. Sądzić trzeba, że niezależnie od wielkich sympatii społeczeństwa polskiego, w tym wojska, do Unii Europejskiej i NATO, niedawna przeszłość wywarła na nas swoiste piętno. Zbyt gwałtowna zamiana „starszego brata", bez koniecznego etapu swoistej „miękkości", mogłaby wyzwolić niepotrzebne fobie. Nie demonizując problemu, trzeba mieć w polu widzenia pewne zagrożenie. Wielowiekowa unia z Litwą, wspólne zwycięstwo nad Krzyżakami w 1410 roku, nie owocują szczególnymi inklinacjami Litwinów do Polski. Musimy strzec się od samouwielbienia.

Polska z nadzieją czeka na przyjęcie do NATO. Czynimy przygotowania do tego. Nie na wiele nas stać. Proces unifikacji po wstąpieniu będzie raczej długotrwały. Różnice w uzbrojeniu, wyposażeniu i sztuce żołnierskiej będą niwelowane stopniowo. Występująca przez czas dłuższy różnorodność systemów uzbrojenia nie będzie nową cechą przyszłej wspólnoty obronnej. Pakt Północnoatlantycki (NATO) został utworzony 4 kwietnia 1949 roku. Pomimo upływu długiego czasu pewne odrębności strukturalne i uzbrojenia poszczególnych państw NATO pozostały. Nie bez znaczenia jest w tym fakcie poczucie odrębności narodowej. Rezygnując z bezwzględnego forsowania unifikacji, uniknięto szkód w sferze psychologicznej, a jednocześnie osiągnięto cele ważniejsze - w postaci trwałych związków politycznych, ekonomicznych i gospodarczych. Istnieją siły połączone (wojska lądowe, siły powietrzne), dowodzone przez powołane w tym celu organa międzynarodowe. Nawet obrona powietrzna ma

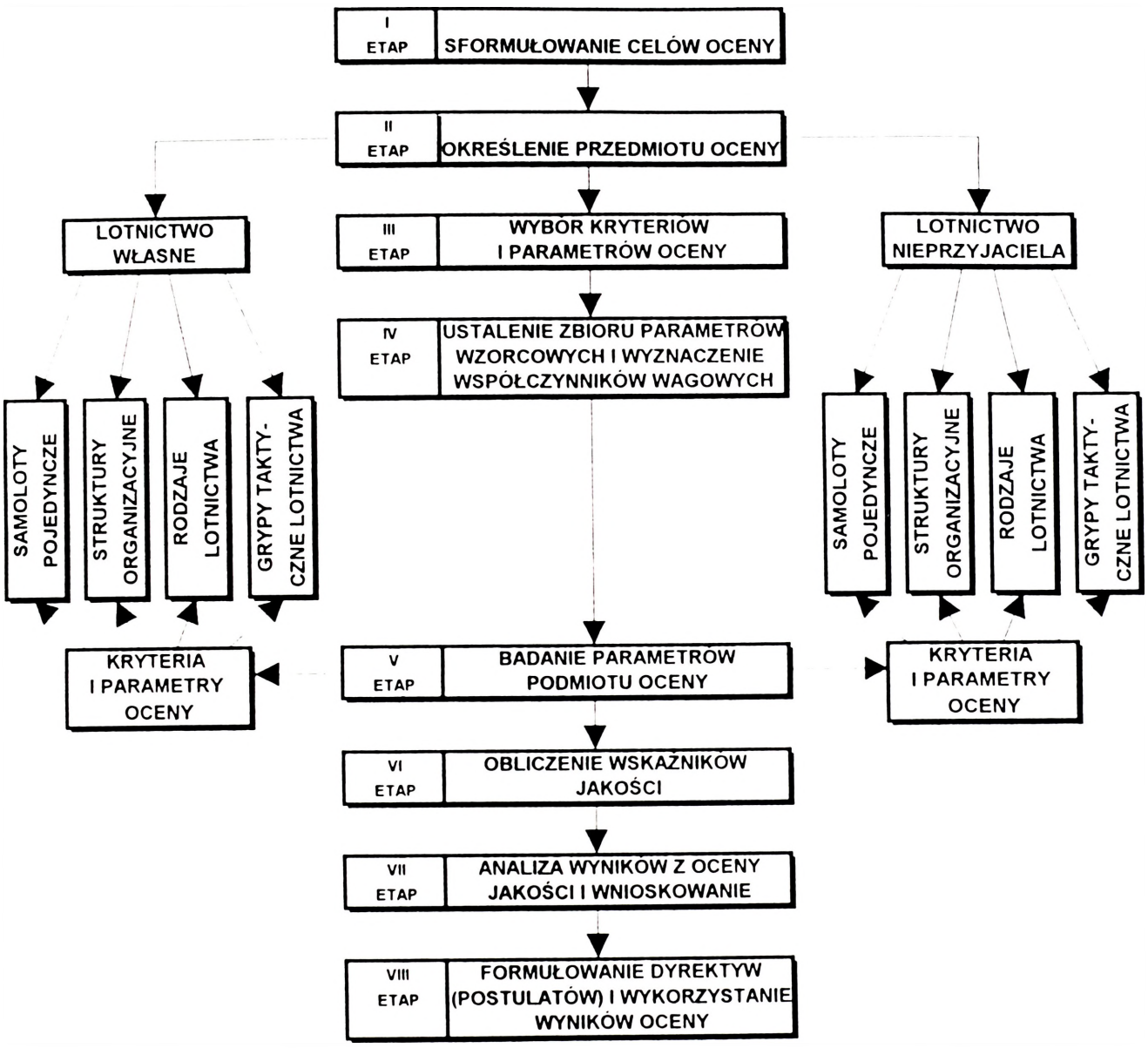
charakter zintegrowany. Ponadto istnieją siły zbrojne narodowe, cechujące się niższym ukompletowaniem i gotowością bojową.

Dowodzenie siłami połączonymi, obok cech uniwersalnych, wyróżniają cechy specyficzne. Nie mogą mieć zastosowania uniwersalne normy kalkulacyjne, w rodzaju: batalion, eskadra, dywizjon, brygada, dywizja i związki wyższe. Konieczne są oceny wzajemnej relacji potencjałów bojowych, które mogą być obliczane w postaci wskaźników jakości. Przykład postępowania podczas określania jakości lotnictwa taktycznego zaprezentowano na rysunku 2.6. Aby wiedzieć ile potrzeba wojsk i jakich w celu obrony kraju, a podczas przygotowania walki i operacji obronnej - gdzie i jak należy je ugrupować, uprzednio muszą być określone ich możliwości. Do tego celu używane bywają określenia potencjał[21)] wojskowy, obronny lub bojowy. Wcześniej przytoczona została definicja pojęcia jakości. Z definicji tej wynika, że jakość jest pojęciem szerszym od potencjału. Dlatego można zaproponować określanie jakości ustalanej w myśl schematu prezentowanego na rysunku 2.6. Pojęciem jakości określamy ogół cech systemu obronnego, jego części, sił zbrojnych lub jakiejś ich struktury. Określenie „potencjał" nie zastępuje pojęcia jakości, ale mimo to możliwe jest określanie potencjału w analogiczny sposób. Wówczas należałoby dobierać inne kryteria i parametry oceny, nie wnikając w głębię istoty ocenianego przedmiotu lub zjawiska. Jeśli nie jest konieczne poznanie ogółu cech przedmiotu oceny, to wygodniej jest posługiwać się potencjałem, który najczęściej charakteryzuje wystarczająco do kilkunastu głównych cech, na przykład: liczność wojsk, ilość uzbrojenia (czołgi, działa, samoloty), parametry głównych podsystemów uzbrojenia, stopień wyszkolenia wojsk, zasilanie mobilizacyjne i przemysłowe. Zarówno podczas oceny jakości, jak i potencjału, nie można uniknąć uwzględniania cech niemierzalnych, a przy operowaniu parametrami

---

[21)] Potencjał - 1. zasób możliwości, mocy, zdolności wytwórczej tkwiący w czymś; sprawność, wydajność, możliwość, zwłaszcza państwa w jakiejś dziedzinie, na przykład gospodarczej, wojskowej: potencjał obronny danego państwa... [Słownik języka polskiego, t.2, s.854, PWN 1988].

wymiernymi niezbędne jest często stosowanie współczynników wagowych. Wynik oceny potrzebny jest w postaci jednego lub niewielu wskaźników (liczby). Na wskaźnik ten



Rys.2.6. Schemat rozwiązywania zadań oceny jakości lotnictwa taktycznego

składać się może nawet kilkaset parametrów o różnych mianach, na przykład: kalibry dział i ich donośności, różne parametry rakiet, prędkości przemieszczania po drogach i bezdrożach, prędkości i wysokości lotu. Istotę problemu obrazuje stary żart wojskowy, o możliwości zastępowania pożywienia żołnierza zamiennikami i utrzymania nakazanej liczby kalorii przydziałem należnej normy wyżywienia w postaci kilkunastu kilogramów siana. W rzeczywistości, ocena jakości systemu obronnego (wojsk) lub tylko potencjału

jest problemem ciągle nie rozwiązanym ostatecznie, chociaż istnieją różne próby posługiwania się subiektywnymi metodami. Porównywane bywają jakości (potencjały) samolotu z czołgiem, działa z rakietą przeciwpancerną. Sądzić należy, że tego rodzaju porównania nie przynoszą konstruktywnych wniosków. Natomiast potrzebne są wyniki porównań różnych struktur wojsk władających nawet odmiennymi podsystemami uzbrojenia. Nie trzeba przy tym udowadniać, że porównania takie wymagają stosowania komputerowych systemów eksperckich.

2.6. Systemy eksperckie w dowodzeniu wojskami podczas dynamiki walki

Dowodzenie[22)] wojskami jest szczególną formą kierowania. Dowodzący wojskami posiada prerogatywy nieporównywalnie wysokie w stosunku do innych osób kierujących zespołami ludzkimi. Stan taki istnieje w okresie pokojowego szkolenia wojsk, a podczas wojny uprawnienia dowódcy osiągają apogeum. Podwładni nie mogą odmówić wykonywania rozkazów, nawet w obliczu zagrożenia śmiercią. Wraz z potęgowaniem uprawnień, rośnie odpowiedzialność dowodzących za następstwa błędnych decyzji (rozkazów). Cechą charakterystyczną w dynamice walki jest ostry deficyt czasu i niedostatek informacji o aktualnym położeniu walczących. Wobec tego, w tak złożonej sytuacji, dowodzący powinni mieć możliwość korzystania ze zautomatyzowanych podsystemów dowodzenia, w których komputery powinny przewyższać współcześnie eksploatowane. Niezbędne są systemy eksperckie, stanowiące swoisty pomost do układów inteligentnych. Funkcje eksperckie wypełniane w etapie

---

[22)] Dowodzenie - działalność dowódcy i osób z nim współdziałających; przygotowanie i prowadzenie działań bojowych; szkolenie wojsk i administrowanie jednostką wojskową; także dział sztuki wojennej dotyczącej tych spraw... [Mała encyklopedia wojskowa, t.1, s.320, Wyd. MON 1967].

przygotowania sił zbrojnych do wojny obronnej powinny być kontynuowane w toku jej trwania, ale w zmienionych warunkach, i dostosowane do wypełniania treściowo odmiennych zadań. Dominować będzie korygowanie wcześniej opracowanych planów walki i operacji, uaktualnianie zadań podwładnych oraz gromadzenie informacji o położeniu wojsk własnych i przeciwnika. Podczas dynamiki walki raczej wykluczone jest korzystanie z wiedzy eksperckiej ludzi (choć może się to odbywać bez świadomego udziału obsługi, której decyzje podejmowane w dynamice walki mogą wpływać na stan wiedzy systemu eksperckiego). Bazę służącą szybkiemu rozwiązywaniu zadań taktycznych i operacyjnych muszą zapewniać dane zgromadzone przed wybuchem wojny oraz informacje docierające do SD w czasie walki. Przetwarzanie tych danych metodami eksperckimi powinno następować w trybie automatycznym. Część sił powietrznych (obrony powietrznej) posiada zautomatyzowane podsystemy dowodzenia i w nich należałoby zmienić oprogramowanie. Korzystając z doświadczeń sił powietrznych, inne rodzaje sił zbrojnych i wojsk będą zmuszone wdrożyć systemy eksperckie odpowiadające ich potrzebom taktycznym i operacyjnym. Komputerowe systemy eksperckie mogą spełniać oczekiwania użytkowników podczas walki, jeśli będą sprzężone z systemami podwładnych, przełożonego i sąsiadów. Ponadto muszą być zasilane przez podsystemy informowania o:

a) położeniu wojsk własnych i nieprzyjaciela na obszarze sprawowania dowodzenia przez dowódcę będącego dysponentem podsystemu eksperckiego (sztab),

b) stanie warunków atmosferycznych, terenowych, skażeń i zakażeń oraz skutkach zniszczeń,

c) działaniach i położeniu sąsiadów i ich przyszłych zamierzeniach,

d) stanie własnych środków materiałowych i technicznych (zużyciu) oraz dostawach planowanych przez szczebel nadrzędny,

e) możliwościach wykorzystywania zasobów miejscowych i możliwym wspieraniu przez OT i OC,

f) planowanym wspieraniu bojowym przez przełożonego, inne rodzaje sił zbrojnych i wojsk oraz sąsiadów

g) realizowanym i prognozowanym wzmacnianiu sił nieprzyjaciela, zmianach planu i form walki (operacji) dostrzeganych w jego postępowaniu.

Pomimo starań dowódców i sztabów w sferze pozyskiwania powyższych informacji, przeciwdziałanie przeciwnika i losowość wydarzeń na polu walki w praktyce uniemożliwiają zdobywanie pełnych informacji. Stwierdzenie to dotyczy nawet armii dysponujących najnowocześniejszymi systemami wykrywania, rozpoznawania i rażenia. Przed zaatakowaniem Iraku USA umieściły na orbitach dodatkowe satelity rozpoznania szczegółowego, a w składzie sił powietrznych znajdowało się sporo samolotów rozpoznawczych i AWACS. Niestety, także inne kanały rozpoznania (na przykład agenturalne), nie uchroniły od uderzeń sił lotnictwa Sprzymierzonych na cele pozorne (makiety sprzętu bojowego). W toku działań sięgnięto do „starej" taktyki rozpoznawania wzrokowego i wzywania grup uderzeniowych (tzw. zabójcze loże). Sprzymierzeni nie mogli zdobyć wielu innych informacji i atakowanie kosztownymi środkami rażenia celów o małej wartości nie należało do rzadkości.

Doniosłą cechą systemów eksperckich jest zdolność do rozwiązywania wielu zadań natury taktycznej i operacyjnej nawet przy niepełnych informacjach (a również niepewnych). Ta cenna właściwość systemów eksperckich eksponuje je szczególnie właśnie w dynamice walki. Za ich pomocą można niwelować skutki brakujących informacji, ale raczej w sferze dowodzenia, wnioskowania o prawdopodobnym działaniu nieprzyjaciela lub położeniu wojsk własnych. Systemy te nie są w stanie zupełnie zastąpić organów rozpoznawczych lub wręcz urządzeń celowniczych (choć mogą je wspomóc), natomiast wydatnie mogą potęgować intelekt w dowodzeniu.

2.7. Wymagania wojskowe wobec systemów eksperckich

Istotą systemów eksperckich mają być trzy główne człony: intelekt ludzki (eksperci), komputery i oprogramowanie. Rozwiązywanie złożonych zadań powinno odbywać się we współpracy komputer - eksperci, a po zgromadzeniu odpowiednich zasobów wiedzy eksperckiej w bazie wiedzy, także za pomocą samego komputera. Docelowo komputery pracujące z wykorzystaniem metod eksperckich muszą być wyposażone w zbiory rozległej wiedzy obejmującej dziedzinę, do której zostaną przysposobione. Cechą wielce pożądaną będzie zdolność wykonywania nawet do kilku miliardów operacji na sekundę. O przydatności systemów eksperckich dla pionu dowódczego i sztabowego przesądzi w poważnym stopniu możliwość słownego komunikowania się na linii użytkownik - komputer (będzie to jeszcze ważniejsze w przypadku głosowego sterowania urządzeniami techniki wojskowej). Zdolność rozumienia słów przez komputer oraz udzielanie słownych odpowiedzi, przyspieszy rozwiązywanie zadań, uwolni od wykonywania przez komputer zbędnych operacji (istota metody eksperckiej), umożliwi dysponentowi na korzystanie z pośrednictwa wysoko kwalifikowanych specjalistów obsługi i niebywale zwiększy dwustronną komunikatywność.

Przewiduje się, że systemy eksperckie stanowić będą podstawę kolejnej generacji sprzętu zautomatyzowanego dowodzenia wojskami. Wobec tego, wymagana jest od nich zdolność do współpracy w sieciach zhierarchizowanych (przełożeni - podwładni) oraz w układach równorzędnych (współdziałających).

Możliwość użytkowania sprzętu wojskowego, w tym systemów eksperckich, warunkuje jego przystosowanie do funkcjonowania w przewidywanych warunkach atmosferycznych (temperaturze od -40^0 do $+40^0$C, ekstremalnej i zmiennej wilgotności

powietrza), przy wstrząsach w czasie przemieszczania na środkach mobilnych (mniejsze wstrząsy na samolotach i śmigłowcach, większe - w pojazdach samochodowych). W wypadku nieprzystosowania komputerów do funkcjonowania w warunkach polowych, zakres ich przydatności do użycia jako bazy sprzętowej dla systemów eksperckich byłby mniejszy, ale możliwe byłoby ich użytkowanie w warunkach stacjonarnych. W okresie pokoju tylko podczas ćwiczeń tworzone są warunki zbliżone do właściwych okresowi wojny. Można liczyć, że nawet nieruchome systemy eksperckie (centra, ośrodki) mogą być wykorzystywane odległościowo, jeżeli zostałaby utworzona sieć z dostępem upoważnionych abonentów. W tej dziedzinie nie ma nic nowego. Istnieją już sieci komputerowe krajowe i międzynarodowe. Nie ma potrzeby tworzyć od podstaw sprzętu peryferyjnego (modemy, pamięci i urządzenia zobrazowywania). Istniał będzie natomiast niewątpliwie problem chronienia systemów eksperckich przed dostępem osób nieuprawnionych. Ochrona musi wykluczyć wykorzystywanie baz wiedzy i, co może jeszcze bardziej istotne, uniemożliwić dywersyjną ingerencję w oprogramowanie systemów eksperckich, powodującą wadliwe ich funkcjonowanie, a nawet wykorzystywanie przeciwko właścicielom.

Dotychczasowe generacje zautomatyzowanych systemów dowodzenia wykonują autonomicznie wiele funkcji zaliczanych do tak zwanego wspomagania dowodzenia. W trybie automatycznym gromadzone są informacje o przeciwniku i wojskach własnych, przetwarzane i zobrazowywane dane oraz wykonywane obliczenia i kalkulacje niezbędne do podejmowania decyzji. W najbardziej rozwiniętych systemach automatycznie tworzone jest swoiste „menu", z którego dowódca wybiera elementy decyzji. Komputery klasyczne nie wykonują najważniejszych funkcji dowodzenia. Nie decydują o działaniach wojsk i nie stawiają zadań do działań bojowych w reżimie automatycznym. Dowódca i podlegli mu sztabowcy spełniają rolę ekspertów, a klasyczne komputery opracowywają i zobrazowują dane. W takim układzie decyzje podejmuje wąskie grono ekspertów,

ponieważ jest to obowiązek i przywilej dowódców. Sztabowcy traktowani są wprawdzie jako eksperci w swojej specjalności, ale ich udział w decydowaniu o walce (operacji) jest ewidentnie pomocniczy. Wynika z tego, że cały ciężar decydowania spoczywa na jednym człowieku (dowódcy oddziału, związku taktycznego i wyższych szczebli). Z wielu względów jednoosobowe decydowanie nie ma alternatywy. Tam, gdzie dowodzi wielu („kolektyw"), tam wkrada się chaos [26, s. 240-241, 248-249]. Ileż męki przeżywa człowiek zdany na siebie podczas decydowania o życiu i śmierci tysięcy ludzi, świadom następstw ewentualnych pomyłek. To właśnie przede wszystkim takim ludziom niezbędne są systemy eksperckie, w których wcześniej skumulowana zostanie wiedza i doświadczenie setek, a nawet tysięcy wybitnych ekspertów. System ekspercki nie musi wskazywać decyzji jedynej. Może być kilka wariantów, z uszeregowanych w kolejności potencjalnych plusów i minusów. O takich ewentualnościach przesądza chociażby nieprzewidywalność możliwego działania przeciwnika. Trudno zatem, zwłaszcza w obronie, sprecyzować jeden wariant własnego działania i decyzja o obronie zawiera zazwyczaj różne opcje. Nie wnikając w szczegóły struktury organizacyjnej, można wskazać trzy zakresy (poziomy) dowodzenia. Pierwszy - taktyczny obejmujący szczeble pododdziałów (kompania, batalion, eskadra, dywizjon), oddziałów (pułk) i brygady lub dywizji. Poziom drugi - operacyjno-taktyczny (korpus, armia, grupa operacyjna). Wreszcie poziom strategiczny, do którego zalicza się dowodzenie rodzajem sił zbrojnych i grupą armii (jeśli istnieją) oraz naczelne dowództwo sił zbrojnych. Jakie szczeble dowodzenia (poziomy) powinny przede wszystkim dysponować eksperckimi systemami dowodzenia[23)]? Ocenia się, że od szczebla oddziału wzwyż - jeśli stworzone zostaną mobilne systemy eksperckie. W najmniej pomyślnym przypadku (systemy stacjonarne) dostęp do sieci systemów eksperckich powinny posiadać dowództwa korpusów i wyższe.

[23)] Oprócz systemów eksperckich wspomagających dowodzenie mogą istnieć systemy eksperckie wspomagające sterowanie środkami walki (por. rozdział 6).

Z punktu widzenia doświadczeń współczesnych, sprzęt komputerowy, będący bazą techniczną systemu eksperckiego wspomagającego dowodzenie, powinien mieć budowę modułową i być usytuowany w kontenerze wraz z urządzeniami otoczenia (modemami łączności, urządzeniami peryferyjnymi). Kontener należałoby przystosować do przemieszczania środkami transportu powietrznego, naziemnego i morskiego. Aparatura powinna być zunifikowana. Szersze potrzeby wyższych szczebli dowodzenia należałoby zaspokajać zwiększeniem liczby modułów lub kontenerów. Zasilanie energetyczne powinno być realizowane z sieci stałej lub elektrowni polowych powszechnie stosowanych.

Przedwczesnym byłoby przesądzanie o rodzaju komputerów (typach), ze względu na znaczną perspektywę czasu potrzebnego na stworzenie w pełni użytecznych, stosowanych w wielu egzemplarzach systemów eksperckich. Bierze się przy tym pod uwagę nadzieję na przyłączenie do europejskiej wspólnoty obronnej. Fakt ten obliguje do liczenia się z koniecznością dostosowania poczynań własnych do standardów stosowanych we wspólnocie.

W zakończeniu tego rozdziału godzi się podkreślić, że prezentowane perspektywy stosowania systemów eksperckich w naszych siłach zbrojnych (również sojuszników) mają ukazać tylko ogólne uwarunkowania i tło do właściwych rozważań o systemach. Czyni się to w kolejnych punktach opracowania. Treści rozdziału pierwszego stanowią tylko koncepcję taktyczno-operacyjną, na tym etapie celowo ogólną. Próba precyzowania szczegółów byłaby działaniem przedwczesnym. Po stworzeniu użytkowych systemów eksperckich, mogą być przeprowadzone stosowne próby i podjęte decyzje. To, co napisano dotychczas, oparte jest na doświadczeniach (swoistych eksperymentach) z dotychczasowego stosowania zautomatyzowanych systemów dowodzenia, które w obecnej postaci (bez zastosowania eksperckich metod rozwiązywania problemów) zbliżają się do kresu swych możliwości rozwojowych.

3. STRUKTURA SYSTEMÓW EKSPERCKICH I NARZĘDZIA DO ICH KONSTRUOWANIA

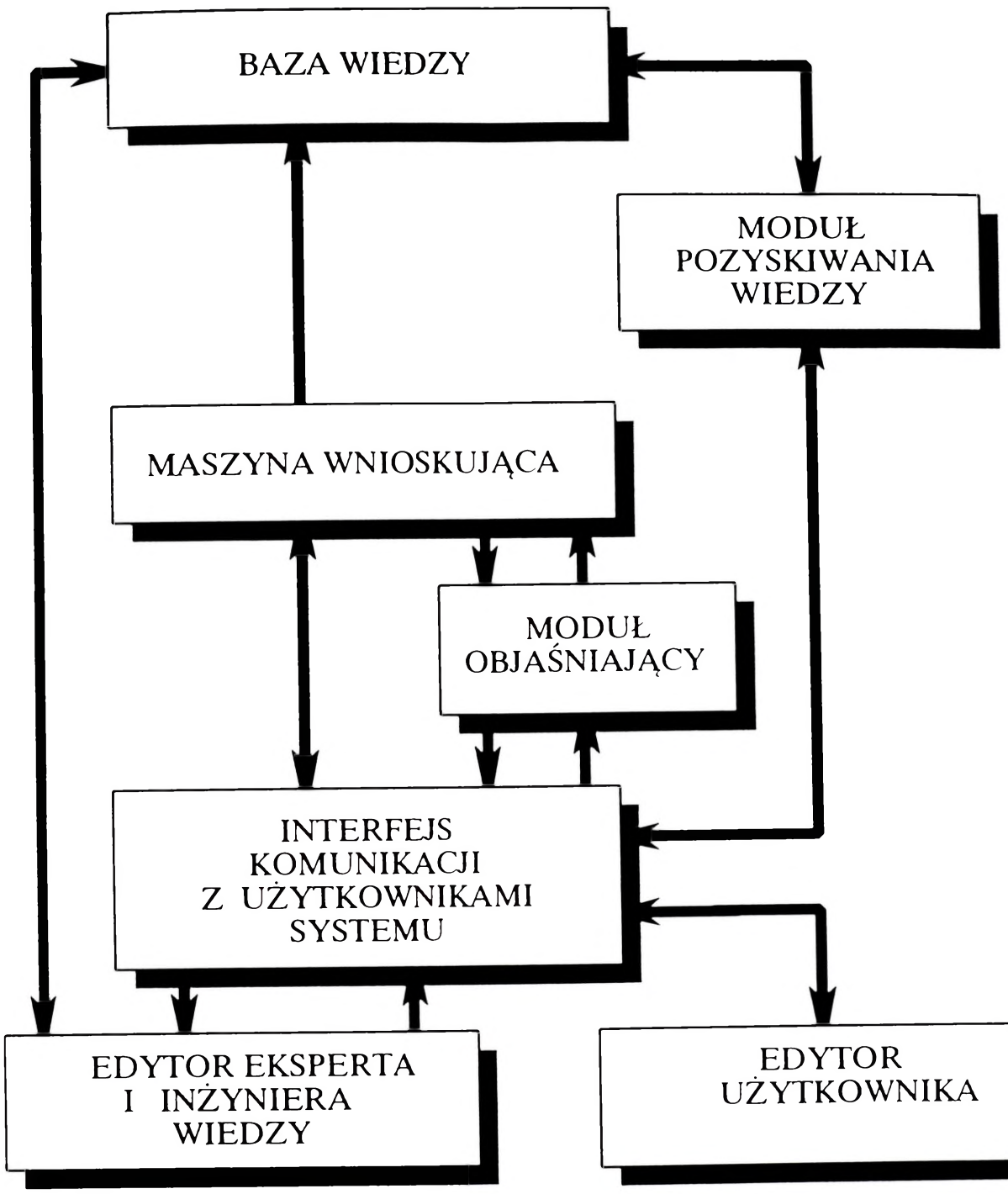
Konstruowanie systemów eksperckich nie ma jeszcze wciąż opracowanej powszechnie akceptowanej metodologii. Nie udało się stworzyć formalnych metod postępowania przy projektowaniu systemów eksperckich. Większość specjalistów jest jednak zgodna co do tego, iż istnieją pewne ogólne zasady ich postępowania, które należy zawsze adaptować do konkretnego przypadku.

Chcąc przystąpić do budowania systemu eksperckiego, musimy rozstrzygnąć trzy podstawowe zagadnienia. Pierwsze z nich dotyczy struktury takiego systemu (z jakich części składa się system i jakie są związki między tymi elementami?). Drugie: etapów tworzenia (jakie czynności należy wykonać, aby zaprojektować i zaimplementować system ekspercki?), a trzecie: sposobów realizacji (z jakich narzędzi <środków> możemy skorzystać przy tworzeniu systemu?).

3.1. Struktura systemu eksperckiego

Przyjmuje się, że w skład systemu eksperckiego wchodzą trzy zasadnicze części[1)]: baza wiedzy (ang. knowledge base), maszyna wnioskująca (ang. inference engine), interfejs komunikacji z użytkownikiem (ang. user's interface) - por. rysunek 3.1.

[1)] Wymienione elementy są nieodzownymi składnikami systemu eksperckiego: bez nich nie możemy mówić, że mamy do czynienia z systemem eksperckim.



Rys.3.1. Struktura systemu eksperckiego

Dodatkowo, w skład systemu mogą wchodzić (w zależności od potrzeb i możliwości realizacji przez inżyniera wiedzy): moduł pozyskiwania wiedzy, edytor wykorzystywany przez eksperta i inżyniera wiedzy, moduł objaśniający.

Baza wiedzy systemu eksperckiego stanowi jego główną część i zawiera informacje z określonej dziedziny wiedzy. Jak sama nazwa wskazuje, zawartość bazy wiedzy stanowi o istocie systemu. Inne moduły korzystają z wiedzy zawartej w bazie. Jej brak[2)] powoduje niemożność korzystania z takiego systemu eksperckiego. Luki w wiedzy systemu istotnie utrudniają jego prawidłowe funkcjonowanie.

Wiedzę systemu eksperckiego można najogólniej podzielić na dwie części:

- wiedzę proceduralną (ang. procedural knowledge),
- wiedzę faktograficzną (ang. declarative knowledge).

Wiedza faktograficzna odnosi się do stwierdzeń o otaczającej nas rzeczywistości (na przykład skład i wyposażenie jednostek wojskowych, możliwości taktyczno-techniczne sprzętu, stan amunicji i materiałów eksploatacyjnych). Natomiast wiedza proceduralna wskazuje na związki między faktami (przykładowo zależności między warunkami pogodowymi a możliwościami użycia określonych środków walki - jeżeli podstawa chmur poniżej 100 metrów i brak wyposażenia samolotów w urządzenia do automatycznego lądowania, to użycie samolotów z lotniska x jest niemożliwe).

Oprócz tych dwóch podstawowych rodzajów wiedzy, baza wiedzy może zawierać również inne informacje. Aby system mógł porozumiewać się z użytkownikiem w jego specjalistycznym języku (w naszym przypadku wojskowym), baza wiedzy musi być wyposażona w słownik pojęć[3)], którym operuje system ekspercki w trakcie pozyskiwania wiedzy od użytkownika, konwersacji w trakcie rozwiązywania problemu lub w czasie wyjaśniania mu prezentowanych rozwiązań. W bazie wiedzy zawarte mogą być także ogólne zależności określające sposoby podejmowania decyzji, niezależnie od dziedziny wiedzy, którą zajmuje się system ekspercki (jest to tak zwana metawiedza systemu, czyli wiedza o wiedzy). W przypadkach, gdy wiedza systemu może być

[2)] Jak na przykład w przypadku szkieletowych systemów eksperckich (por. punkt 3.3.).

[3)] Na przykład: samolot, czołg, eskadra, załoga, kompania.

zapisana w postaci modeli, to w bazie wiedzy wyodrębniona jest część zawierająca takie modele (na przykład matematyczny model nalotu środków napadu powietrznego).

Konstruktor bazy wiedzy (inżynier wiedzy) powinien uwzględnić potrzeby jej ciągłej rozbudowy i modyfikacji, w miarę rozwoju systemu. Przyjmuje się, że baza wiedzy może przechowywać informacje sprzeczne, lecz nie mogą one prowadzić do błędnego działania systemu. Oznacza to, że maszyna wnioskująca musi uwzględniać tego typu sytuacje. Są one oczywiście przejściowe. Ich wykrywaniem i usuwaniem zajmują się procedury pozyskiwania wiedzy.

Baza wiedzy ma odpowiednią organizację. Jest ona najczęściej kompromisem pomiędzy wymaganą formą opisu wiedzy a możliwościami umieszczenia jej w komputerze. Obecnie konstruowane bazy wiedzy, wykorzystujące regułową reprezentację, zawierają na ogół najwyżej kilkanaście tysięcy reguł. Przewiduje się jednak, że bazy wiedzy komputerów piątej generacji będą zawierały co najmniej kilkadziesiąt tysięcy, a nawet do 1.000.000.000 reguł, co będzie już w przybliżeniu odpowiadać wiedzy człowieka.

Drugą ważną częścią systemu eksperckiego (oprócz bazy wiedzy) jest maszyna wnioskująca. Zawiera ona procedury umożliwiające operowanie na wiedzy systemu w celu wyciągania wniosków (poszukiwania rozwiązań). Opracowano do tej pory wiele metod wnioskowania. Użycie konkretnej metody zależy w dużej mierze od sposobu reprezentacji wiedzy w bazie wiedzy. Na przykład dla regułowej reprezentacji wiedzy, opracowano metody prostego i odwrotnego łańcucha wnioskowania (wnioskowania wstępującego i zstępującego).

Maszyna wnioskująca bezpośrednio operuje na bazie wiedzy i może w trakcie działania zmieniać jej zawartość poprzez wprowadzanie do niej nowych faktów. Wszystkie stosowane metody wnioskowania mają na celu znalezienie jakiejś drogi (najczęściej najkrótszej) prowadzącej do któregoś z możliwych rozwiązań (lub do

rozwiązania najlepszego pod jakimś względem). Najczęstszymi ograniczeniami efektywności procedur wnioskowania są zasoby komputera, takie jak objętość pamięci operacyjnej oraz szybkość pracy procesora.

Aby system mógł porozumiewać się z otoczeniem, musi być wyposażony w odpowiedni program do komunikowania się z użytkownikami. Umożliwia on wprowadzanie do systemu informacji będących opisem analizowanego problemu oraz zapoznawanie się z pośrednimi i końcowymi wynikami działania systemu. Interfejs taki stanowi także narzędzie do pozyskiwania wiedzy od użytkowników. Odbywa się to często w drodze dialogu. Wiedza taka jest przez system na bieżąco gromadzona i weryfikowana.

Właściwa organizacja dialogu użytkownik - komputer umożliwia efektywne wykorzystanie systemu eksperckiego. Spotykane są dwie sytuacje: kiedy system ma inicjatywę podczas poszukiwania rozwiązania oraz kiedy inicjatywę przejmuje użytkownik (bywają też kombinacje tych ustaleń). W przypadku, kiedy inicjatywa należy do systemu eksperckiego, po wprowadzeniu danych początkowych system stawia hipotezę i zadaje użytkownikowi pytania tak długo, aż wybrana hipoteza zostanie potwierdzona lub odrzucona. Taki sposób dialogu sprawdza się w przypadku obsługiwania systemu przez osobę niedoświadczoną, nie mającą własnych, sprecyzowanych, alternatywnych poglądów. W przypadku obsługi systemu przez osoby o wyższych kwalifikacjach, powyższy sposób dialogu jest nieodpowiedni, ponieważ tacy użytkownicy są w stanie zaproponować lepsze rozwiązania i mają podstawy przypuszczać, że nie wszystkie występujące zależności oraz wnioski są przez system uwzględniane.

Projektując interfejs należy pamiętać, że:

- wiedza może być opisywana w sposób abstrakcyjny, że zróżnicowaną dokładnością i wnikliwością oraz na różnych poziomach szczegółowości;

- użytkownik systemu eksperckiego dysponuje również wiedzą (i to często fragmentami nie gorszą niż system),

- w różnych dziedzinach przedmiotowych obowiązują różne sposoby prowadzenia dialogu (i związane z tym zwyczaje).

Aby możliwy był rozwój systemu eksperckiego, musi być do niego dostarczana wciąż nowa wiedza, a równocześnie istniejąca powinna być modyfikowana i ulepszana. Tego typu działanie możliwe jest dzięki zastosowaniu modułu pozyskiwania wiedzy zarówno od użytkownika systemu, jak i od eksperta czuwającego nad jej poprawnością. Proces gromadzenia wiedzy powinien odbywać się pod kontrolą modułu pozyskiwania wiedzy, co gwarantuje bieżącą jej weryfikację. Tego typu wymagania mogą jednak spełnić tylko skomplikowane procedury przetwarzania wiedzy.

Aby możliwe było przekonanie użytkownika systemu o poprawności rozwiązań proponowanych przez system, muszą istnieć procedury dokonujące wyjaśnień. Rolę taką spełnia moduł objaśniający, który w najprostszej formie przedstawia całą drogę wnioskowania począwszy od wprowadzonych do systemu faktów, poprzez pośrednie rozwiązania, a skończywszy na odpowiedzi. Musi istnieć możliwość uzyskania odpowiedzi od systemu na pytania typu „dlaczego właśnie tak?"[4] oraz na pytanie „co by było gdyby?"[5]. Jeżeli system wyposażony jest w takie mechanizmy udowadniania swoich decyzji, budzi na ogół większe zaufanie osób go obsługujących (co jest warunkiem koniecznym użyteczności systemów eksperckich, a szczególnie wojskowych, od których działania, i zaufania do ich propozycji, może zależeć powodzenie działań).

---

[4] Przykładowo może to być objaśnienie proponowanej decyzji o odparciu nalotu obiektów powietrznych (wykorzystać środki rakietowe ze względu na: dużą manewrowość celów i złe warunki atmosferyczne, uniemożliwiające wykorzystanie lotnictwa myśliwskiego).

[5] Od systemu eksperckiego wspomagającego tworzenie ugrupowania wojsk rakietowych można spodziewać się objaśnienia jakie konsekwencje niesie zmiana usytuowania środków ogniowych (jak zmienia się strefa ognia i jakie niesie to konsekwencje dla skuteczności zwalczania obiektów powietrznych, na przykład z uwzględnieniem kierunków i wysokości spodziewanych nalotów).

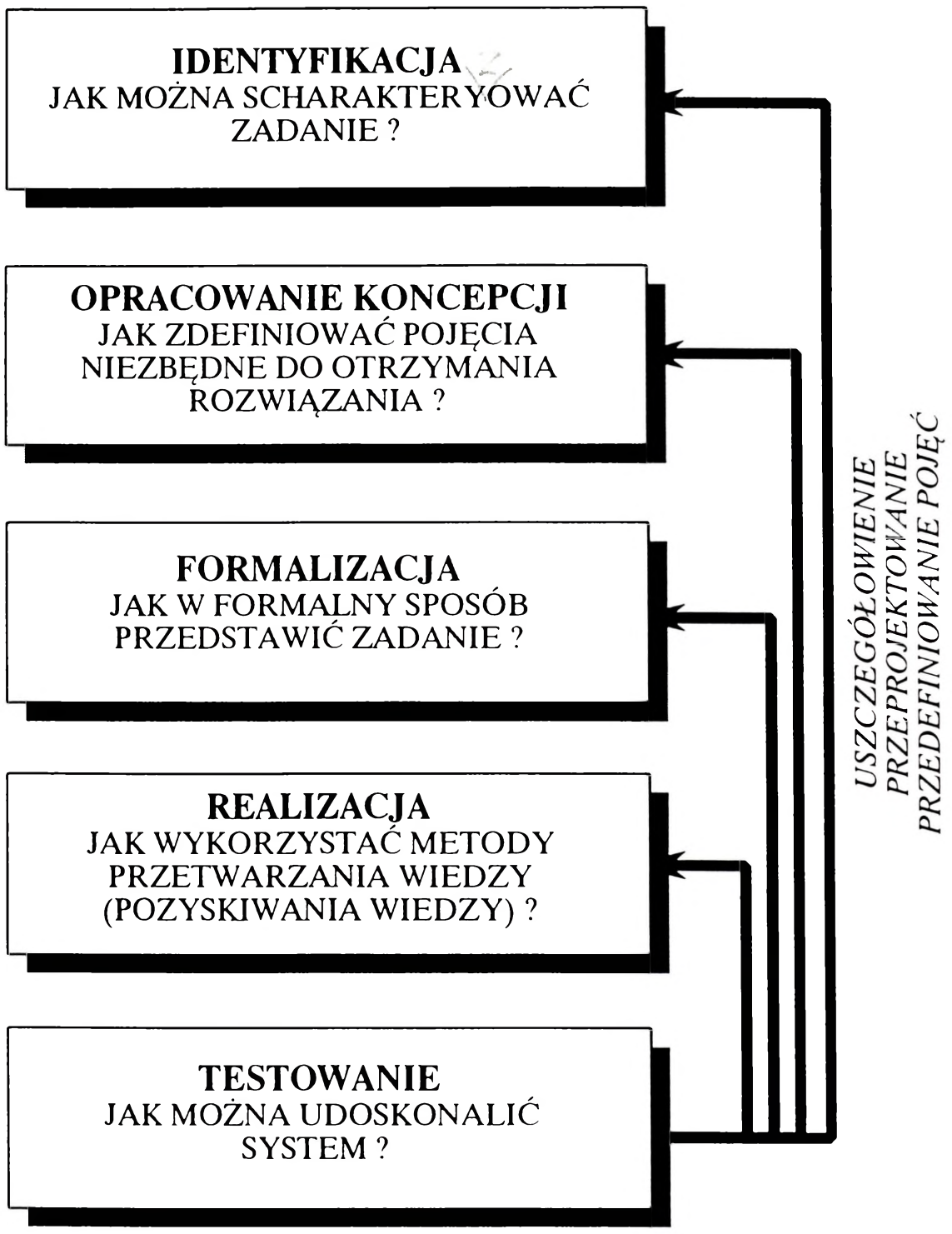
Przedstawione powyżej elementy mają w obecnie eksploatowanych systemach eksperckich implementację programową. Jednak ogromne zaangażowanie teoretyków i praktyków, zajmujących się konstruowaniem nowych układów mikroprocesorowych spełniających wymagania badań prowadzonych nad sztuczną inteligencją, pozwala przypuszczać, że w nieodległej przyszłości moduł wnioskowania oraz baza wiedzy staną się układami sprzętowo-programowymi. Ułatwi to niewątpliwie konstrukcję wojskowych systemów eksperckich, zwłaszcza tych, przeznaczonych do bezpośredniego sterowania urządzeniami techniki wojskowej. W tego rodzaju systemach czas reakcji będzie odgrywał zasadniczą rolę, a jak dotychczas implementacja sprzętowa wszelkich koncepcji jest na ogół szybsza niż implementacja programowa.

3.2. Etapy tworzenia systemów eksperckich

Doświadczenia z tworzenia systemów eksperckich wskazują, że projektując taki system należy jak najszybciej stworzyć jego prototyp. Powinien on dysponować większością funkcji końcowego produktu. Takie prowadzenie prac umożliwia sprawdzenie poprawności przyjętych rozwiązań już na wczesnych etapach tworzenia systemu. Weryfikacja systemu, w stopniu znacznie większym niż w przypadku innych systemów informatycznych, możliwa jest jedynie poprzez jego eksploatację.

Jak wynika to ze schematu przedstawiającego etapy tworzenia systemów eksperckich (rysunek 3.2.), podlega on zwykłym zasadom tworzenia oprogramowania. Różnica polega na innym rozłożeniu akcentów na poszczególne elementy. Podczas eksploatacji systemu eksperckiego, oprócz usuwania dostrzeżonych błędów i niedoskonałości, należy dążyć do tego, by był on ciągle rozwijany (oczywiście powoduje to, że znacznie wzrastają koszty pielęgnacji). Do oceny nie wystarczają często

tradycyjne kryteria takie jak: koszt, szybkość działania, niezawodność. Należy je uzupełnić o dodatkowe zasady oceny poprawności generowanych rozwiązań (szczególnie gdy dotyczy to sfery zastosowań wojskowych) i ich zgodności z rozwiązaniami przygotowywanymi przez człowieka-eksperta.



Rys.3.2. Etapy tworzenia systemu eksperckiego

Przed przystąpieniem do tworzenia systemu eksperckiego należy dokonać pewnego rozeznania co do zadań, jakie stawia się przed systemem. Polegać to może na sformułowaniu odpowiedzi na następujące pytania:

1. Czy tworzenie systemu eksperckiego jest możliwe?

2. Czy tworzenie systemu eksperckiego jest pożyteczne?

3. Czy tworzenie systemu eksperckiego ma sens?

Tworzenie systemu eksperckiego jest możliwe:

- gdy eksperci mogą opisać swoje metody postępowania przy rozwiązywaniu problemu (co, jak powszechnie wiadomo, jest trudne w dziedzinie zastosowań wojskowych, szczególnie jeśli chodzi o eksperckie systemy wspomagania dowodzenia, mniej - w odniesieniu do eksperckich systemów sterowania środkami walki);
- gdy eksperci są w zasadzie jednomyślni co do przyjętych rozwiązań problemu (w przypadku aplikacji wojskowych jest dość mały margines na „rozstrzelone opinie ekspertów", bo może prowadzić to do zupełnie przeciwstawnych rozwiązań, a takie nie będą budziły zaufania potencjalnego użytkownika);
- gdy zadanie nie jest w bardzo dużej mierze skomplikowane (wymagania to w odniesieniu do wojskowych systemów eksperckich jest rzadko spełnione i stąd tak niewiele prawdziwie użytecznych aplikacji jest faktycznie stosowanych w siłach zbrojnych);
- gdy zadanie wymaga wykorzystania rozumowania człowieka-eksperta.

Tworzenie systemów eksperckich jest pożyteczne:

- gdy system redukuje trud człowieka, pomagając mu w rozwiązywaniu problemów z pewnej dziedziny (w dużym stopniu odnosi się to zarówno do wojskowych systemów eksperckich wspomagających dowodzenie, jak i tych, które ułatwiają sterowanie środkami walki);

- gdy rozwiązanie jest opłacalne (w przypadku systemów wojskowych wymiar ekonomiczny przedsięwzięcia, jakim jest stworzenie systemu eksperckiego nie musi być decydujący, choć nie do pominięcia);
- gdy liczba ekspertów z danej dziedziny jest niewystarczająca (co prawda osób chętnych do zajmowania różnych stanowisk wojskowych jest na ogół wystarczająco dużo, to jednak nie musi to iść w parze z ich kompetencją; system ekspercki może dopomóc osobom funkcyjnym, które z racji zbyt małego stażu czy niepełnych kompetencji nie w pełni radzą sobie na zajmowanym stanowisku);
- gdy system będzie w pełni wykorzystywany (zależy to w bardzo dużej mierze od pozytywnego nastawienia potencjalnych użytkowników <szczególnie dowódców[6)]> do nowo wprowadzanych rozwiązań).

Tworzenie systemów eksperckich ma sens:

- gdy zadanie wymaga operowania symbolami (tak na ogół jest w przypadku wojskowych systemów eksperckich - systemów wspomagania decyzji, aczkolwiek i obliczenia numeryczne odgrywają tu niemałą rolę);
- gdy zadanie wymaga heurystycznych (niealgorytmicznych) metod (ang. heuristic) poszukiwania rozwiązań (stanowi to immanentną cechę niemal wszystkich problemów występujących w działalności sił zbrojnych);
- gdy zadanie nie jest bardzo skomplikowane (wymaganie to dotyczy w głównej mierze systemów prototypowych, będących we wstępnej fazie projektowania; dopiero weryfikacja takiego prototypu umożliwia opracowanie i zaimplementowanie wersji użytkowej, nawet o znacznym stopniu skomplikowania rozwiązywanych problemów);

[6)] Obsługi sprzętu wyposażonego w systemy eksperckie są często „skazane" na ich wykorzystywanie i ich pozytywne nastawienie ma w tym przypadku mniejsze znaczenie.

- gdy zadanie ma praktyczne zastosowanie i jego rozmiar umożliwia znajdowanie rozwiązań (w przypadku wojskowych systemów eksperckich na ogół kierujemy się wymogiem praktyczności zastosowań).

Jeżeli wstępny etap analizy zadania oraz dziedziny zastosowania systemu zakończy się pomyślnie, to można przystąpić do prac projektowych. Specyfika systemów eksperckich uniemożliwia stworzenie jednolitego, unormowanego toku postępowania przy ich tworzeniu. Dlatego też jedną ze strategii może być „stopniowe udoskonalanie". Stopniowe udoskonalanie oznacza, że system sam sobie pomaga rozwijać się. Dlatego też, jeżeli projektanci systemu mają chociażby minimalną wiedzę umożliwiającą zbudowanie systemu (a służy temu celowi wiele formalnych metod manualnego pozyskiwania wiedzy, opisanych chociażby w punkcie 4.3.), tworzą jego prototyp. System, korzystając z wiedzy uzyskanej wstępnie od eksperta, pozyskuje nową, pełnowartościową wiedzę (z wykorzystaniem półautomatycznych bądź też nawet automatycznych metod pozyskiwania wiedzy - punkt 4.3.).

Istnieje jednak pewne niebezpieczeństwo związane z takim sposobem doskonalenia (rozwijania) systemu. Mogą powstać różne nieprzewidziane sytuacje, a najgroźniejszą z nich jest „konflikt paradygmatów". W czasie budowania systemu może nastąpić taki moment, że baza wiedzy osiągnie niekontrolowane rozmiary. Sterowanie takim systemem staje się niewygodne, a czasami wręcz niemożliwe. System staje się sam dla siebie „wąskim gardłem". W takiej sytuacji należy na nowo zaprojektować system, co w efekcie powinno doprowadzić do stworzenia niezawodnego produktu.

Chociaż, jak już wspomniano, niemożliwe jest szczegółowe przedstawienie kolejnych kroków, które należy poczynić, aby stworzyć system, to jednak udało się wyodrębnić pewne szeroko pojęte etapy opracowania oraz sposoby postępowania w każdym z nich. Są to etapy ściśle ze sobą powiązane i częściowo pokrywające się: identyfikacja, opracowanie koncepcji, formalizacja, realizacja, testowanie (pielęgnacja).

Rysunek 3.2. [32] ilustruje związki między etapami oraz sposoby przechodzenia między nimi. Przedstawia on jedną z możliwych realizacji procesu projektowania. Projektowanie rozpoczyna się od identyfikacji i kończy się na testowaniu. Jednakże w dowolnym kroku tworzenia możliwe jest przejście do innego etapu.

Realizując etap identyfikacji, twórca systemu i ekspert określają istotne elementy zadania (na przykład dane wejściowe, etapy rozwiązywania, oczekiwane wyniki). Elementy te opisuje się dokładnie, ustalając przy tym zestaw pojęć, którymi od tej pory należy się posługiwać.

Etap wypracowania koncepcji polega na wyodrębnieniu niezależnych części zadania i określeniu ograniczeń związanych z zadaniem. Na tym etapie ważną rzeczą jest ustalenie poziomu uszczegółowienia przyjmowanych pojęć (w przypadku wojskowych systemów eksperckich może to, na przykład, dotyczyć: szczebla taktycznego, operacyjno-taktycznego czy operacyjnego). Twórca bazy wiedzy najczęściej wybiera najbardziej abstrakcyjny poziom uszczegółowienia. Należy zwrócić uwagę, że na tym etapie nie wymaga się od twórców, aby dokonali oni pełnej analizy zadania przed przystąpieniem do realizacji projektu. Stanie się to aktualne po stworzeniu prototypu systemu (a wtedy powstanie pole do popisu dla ekspertów weryfikujących powstały prototyp).

Wykonując etap formalizacji, inżynier wiedzy musi wyrazić kluczowe pojęcia i związki za pomocą metod formalnych, zwykle związanych z językiem (narzędziem) używanym do tworzenia systemu eksperckiego. Z tego powodu, wymaga się od inżyniera wiedzy znajomości narzędzi do tworzenia systemów eksperckich. Na tym etapie powinien on wybrać narzędzie adekwatne do rozwiązywanego problemu na przykład: jeżeli dla rozwiązania zadania można posłużyć się regułami wnioskowania, to projektant może wybrać język ROSIE. Przyjęcie tego języka do zapisu pojęć formalnych

na tym etapie powoduje, że inżynier wiedzy będzie gromadził wiedzę w postaci reguł (por. punkt 4.1.).

Etap realizacji poświęcony jest na przekształcenie zgromadzonej wiedzy w program komputerowy. Od tak stworzonego programu wymaga się, aby miał pewne cechy:

- „treść", która wynika z etapu formalizacji, czyli:

 * struktury danych,

 * strategię wnioskowania;

- „formę", którą narzuca narzędzie wybrane do tworzenia systemu;

- „zgodność" - musi istnieć zgodność między przyjętymi strukturami reprezentacji wiedzy i sposobami wnioskowania.

Etap realizacji powinien być wykonany możliwie szybko, aby otrzymać prototyp systemu, co umożliwi weryfikację przyjętych założeń projektowych. Wojskowe systemy eksperckie są dość wrażliwe na przeciąganie prac nad ich realizacją, gdyż produkt otrzymany po długim czasie może być już w istotnym stopniu przestarzały.

W etap testowania włącza się ocenę wyników pracy systemu oraz jego przydatności. Ekspert ocenia stworzony prototyp i wraz z twórcą dokonują jego sprawdzenia z wykorzystaniem przygotowanych wcześniej danych. Podczas takiej oceny mogą ujawnić się pewne mankamenty, co spowoduje, że projektant będzie musiał cofnąć się na wcześniejszy etap projektowania, modyfikując lub zmieniając przyjęte rozwiązania. Ocena prototypu może przykładowo polegać na odpowiedzi na pytania:

- Czy system generuje rozwiązania, które zadowalają ekspertów (lub w przypadku systemów wspomagających sterowanie środkami walki, czy działanie samolotu lub czołgu jest zgodne z przewidywanym, a wykorzystanie systemu eksperckiego nie jest nadmiernie uciążliwe dla obsługi i czy nie ogranicza jej działania)?

- Czy reguły nie są błędne, sprzeczne lub niepełne?

- Czy strategia wnioskowania umożliwia systemowi rozpatrywanie problemu w naturalnym porządku, tak jak czyniłby to ekspert?

- Czy objaśnienia są adekwatne do tego, jak i dlaczego zostały przyjęte lub odrzucone pewne rozwiązania?

- Czy dane testowe obejmują cały zaplanowany zakres wiedzy, w jakim ma być zastosowany system (w przypadku systemów eksperckich wspomagających sterowanie urządzeniami techniki wojskowej jest to omal niemożliwe, stąd w takim przypadku wielki nacisk kładzie się na takie skonstruowanie reguł działania, by system miał możliwość adaptacji do nie znanych wcześniej warunków)?

- Czy prezentowane rozwiązania posiadają wartości użytkowe?

- Czy pytania systemu są logiczne, z wymaganym stopniem uszczegółowienia (jeżeli w ogóle występuje dialog z użytkownikiem na etapie poszukiwania rozwiązań - nie dotyczy to etapu objaśniania wcześniej przyjętych decyzji)?

- Czy przyjęta strategia umożliwia szybką pracę systemu?

- Czy system jest „przyjazny" w stosunku do użytkownika?

Doskonalenie systemu, z punktu widzenia stopnia realizacji założonych zadań, można przedstawić następująco:

1. Prototyp demonstracyjny systemu, realizujący pewne cząstkowe zadania. Wykazuje on czy zaproponowane podejście jest prawidłowe (sprawdzany w warunkach laboratoryjnych);

2. Prototyp użytkowy, realizujący w pełni założone zadania. Mogą w nim wystąpić błędy spowodowane tym, że system nie został jeszcze w pełni przetestowany (przewidziany do weryfikacji w warunkach zbliżonych do rzeczywistych, na przykład w badaniach poligonowych);

3. Prototyp eksploatacyjny systemu, który przeszedł pełne testowanie, zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i rzeczywistych. Charakteryzuje się wysoką jakością

(możliwy do zastosowania w wybranych jednostkach wojskowych czy na określonych szczeblach dowodzenia);

4. Prototyp przemysłowy systemu, charakteryzujący się szybkim działaniem oraz dużą poprawnością generowanych rozwiązań (sprawdzony pod względem eksploatacyjnym i poprawiony pod względem technologii produkcji);

5. System komercyjny (gotowy do produkcji w wymaganej skali i wprowadzenia w wyznaczonych strukturach organizacyjnych).

3.3. Narzędzia wspomagające budowę systemów eksperckich

Wraz z rozwojem sztucznej inteligencji, równolegle zmianie ulegały języki programowania, które stosowano do implementacji budowanych systemów. Spośród języków wysokiego poziomu dwa zasługują na szczególną uwagę: PROLOG i LISP. Obok wymienionych języków, powstały bardzo wyspecjalizowane środowiska programowe czy narzędzia wspomagające tworzenie systemów eksperckich. Na rysunku 3.3. przedstawiono ogólny podział środków wspomagających tworzenie systemów sztucznej inteligencji (w tym systemów eksperckich).

Najniżej w hierarchii znajdują się języki wysokopoziomowe. Klasyfikując języki wysokopoziomowe, można najogólniej wyróżnić trzy grupy:

- języki klasyczne (np. PASCAL),
- języki, w których podstawą jest programowanie w języku rachunku predykatów (na przykład PROLOG),
- języki „funkcyjne" (np. LISP, HOPE, FP).

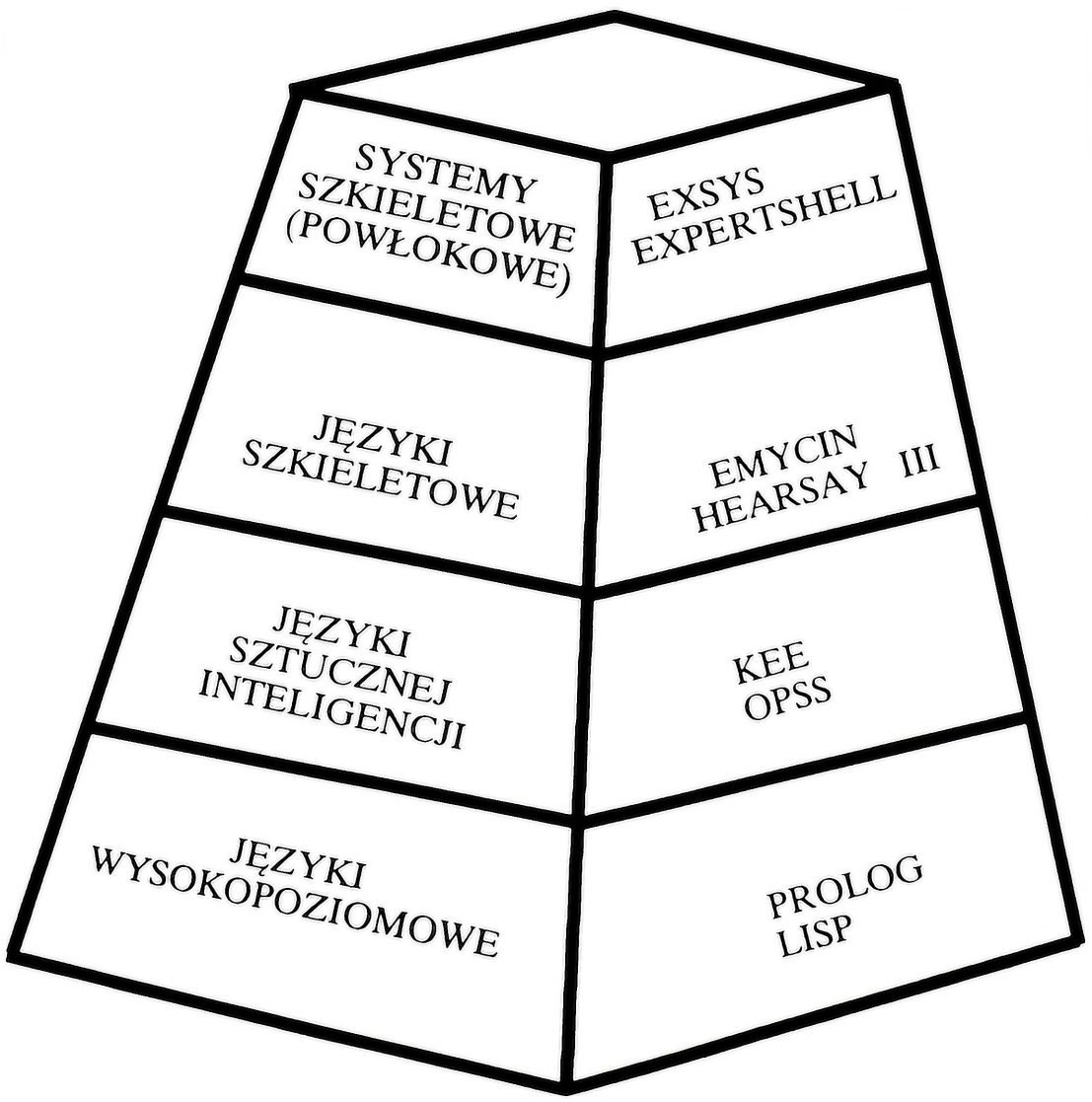
W PROLOGU, za pomocą klauzul Horna, zapisuje się program, który jest zbiorem faktów i reguł dotyczących obiektów z rozpatrywanej dziedziny wiedzy. Jedną

z najbardziej popularnych implementacji języka PROLOG używanych na sprzęcie klasy IBM PC jest TURBO PROLOG. Program składa się z trzech głównych części:

1. definicja dziedzin (ang. domains),

2. definicja predykatów (ang. predicates),

3. definicja klauzul (ang. clauses).



Rys.3.3. Podział narzędzi do budowy systemów eksperckich

Korzystając z powyższego zbioru definicji, określa się cel (ang. goal) wykonania programu.

Prolog ma wbudowany mechanizm wnioskowania oparty o odwrotny łańcuch wnioskowania (wnioskowanie zstępujące). Jest to jedna z najbardziej popularnych metod używanych nawet w bardzo zaawansowanych systemach eksperckich.

W odróżnieniu od PROLOGU, LISP wykorzystuje funkcje, których argumentami mogą być inne funkcje. Stanowi to o przewadze w tym zakresie języka LISP nad PROLOGIEM. Popularną implementacją tego języka jest MULISP. Dynamiczną strukturą danych jest tu lista. Bazując na tej strukturze, język wyposażony jest w pięć podstawowych elementów:

- trzy funkcje:

 * cons [A B] - połączenie dwóch elementów,

 * car [lista] - wydzielenie „głowy" listy,

 * cdr [lista] - wydzielenie „ogona" listy;

- dwa predykaty:

 * atom [A] - sprawdzenie czy A jest atomem,

 * eg [A B] - porównanie A z B.

Dobrym rozwiązaniem projektowym może być w niektórych przypadkach zastosowanie języków sztucznej inteligencji, które w klasyfikacji znajdują się pomiędzy językami wysokiego poziomu a językami szkieletowymi. Do najbardziej popularnych języków szkieletowych należą: OPS5, KES, KEE, ART, RULEMASTER, SRL, Personal Consultant Plus [10].

OPS5 jest jednym z najczęściej wykorzystywanych narzędzi inżynierii wiedzy. Został opracowany w Carnegie-Mellon University i zaimplementowany w dialektach LISPU. Jest językiem przeznaczonym do reprezentacji wiedzy w postaci reguł, z mechanizmem wnioskowania wstępującego. Zawiera także procedury redagowania bazy wiedzy i usuwania błędów.

KES został opracowany przez Software Architecture & Engineering Inc. Zaimplementowany w języku FRANZLISP, jest przeznaczony do reprezentacji wiedzy w oparciu o reguły i ramy z rozumowaniem zstępującym. Zawiera mechanizm wnioskowania umożliwiający przetwarzanie wiedzy w warunkach niepewności, w oparciu o prawo Bayesa. Wyposażony jest w moduł pozyskiwania wiedzy.

KEE to komercyjny system wspomagający budowę systemów eksperckich opracowany przez Intell Corp. Zaimplementowany jest w języku INTERLISP. Wyposażono go w regułową reprezentację wiedzy. KEE ułatwia modułowe projektowanie systemu, umożliwiając budowę kilku baz wiedzy oraz rozumowanie zarówno do przodu, jak i wstecz.

ART został opracowany przez Inference Corp. Zaimplementowano go w LISPIE. Jest językiem inżynierii wiedzy do reprezentowania ekspertyzy w postaci reguł. Dopuszcza także reprezentację w postaci ram oraz tradycyjną reprezentację proceduralną. Umożliwia rozumowanie w przód i wstecz (wstępujące i zstępujące). Dysponuje mechanizmem przetwarzania wiedzy niepełnej i niepewnej.

RULEMASTER to komercyjny system wspomagający budowę systemów eksperckich opracowany przez Radian Corp. Zaimplementowany jest w języku C, a przeznaczony do budowy systemów z bazą wiedzy w postaci reguł. Składa się z następujących modułów: język do formułowania reguł wnioskowania; mechanizm indukcyjny do definiowania reguł wnioskowania na podstawie przykładów; mechanizm do automatycznego generowania objaśnień w formie pełnych zdań w języku angielskim oraz moduł umożliwiający definiowanie typów danych i operatorów przez samego użytkownika.

SRL został opracowany przez Instytut Robotyki Uniwersytetu Carnegie-Mellon. Zaimplementowano go w języku FRANZLISP. Jest przeznaczony do reprezentacji

wiedzy w postaci ram, umożliwia zarówno automatyczne jak i definiowane przez użytkownika dziedziczenie cech (wielokontekstowo) oraz wykorzystanie metawiedzy.

PERSONAL CONSULTANT PLUS to komercyjny system opracowany przez Texas Instruments Corp., zaimplementowany w dialekcie LISPU. Jest językiem inżynierii wiedzy służącym do reprezentacji wiedzy w postaci reguł wnioskowania lub ram. Umożliwia rozumowanie wstępujące i zstępujące. Jest wyposażony w mechanizm operujący na wiedzy niepewnej, edytor bazy wiedzy, interfejs komunikacji z użytkownikiem i mechanizm objaśniający.

Wiele z narzędzi sztucznej inteligencji powstało z istniejących, gotowych systemów eksperckich. Są to tak zwane języki „szkieletowe". Przykładem takiego narzędzia jest język inżynierii wiedzy EMYCIN, który został stworzony z systemu eksperckiego MYCIN. Z systemu tego usunięta została baza wiedzy. Mechanizm wnioskowania oparty jest na odwrotnym łańcuchu wnioskowania (wnioskowanie zstępujące). Pierwotne przeznaczenie systemu preferuje to narzędzie do realizacji zadań związanych z diagnostyką oraz klasyfikacją. Posiada on środki reprezentacji wiedzy oraz jej przetwarzania, a także mechanizm objaśniający. Dodatkowym elementem wprowadzonym do EMYCIN jest możliwość użycia prawdopodobieństwa spełnienia lub niespełnienia określonego faktu czy założonej diagnozy (wiedza niepewna).

Systemy szkieletowe (ang. expert system shells) stanowią najwyższy poziom narzędzi sztucznej inteligencji. Są one kompletnymi systemami eksperckimi, pozbawionymi jedynie bazy wiedzy. Użytkownik, tworząc własną bazę wiedzy oraz interfejs komunikacji, może zbudować swój oryginalny system ekspercki. Widać stąd, że systemy szkieletowe w bardzo dużym stopniu ułatwiają tworzenie gotowych produktów. Wadą tego typu systemów jest ich mała elastyczność, co może powodować trudności w stworzeniu specjalistycznych narzędzi. Niemałym mankamentem jest również ich wysoka cena.

4. REPREZENTACJA WIEDZY W SYSTEMIE EKSPERCKIM I JEJ POZYSKIWANIE

Na etapie analizy problemu inżynier wiedzy wraz z ekspertem (ekspertami) ustalają sposób, w jaki wiedza (ang. knowledge) będzie przechowywana w systemie. Formalne metody pozyskiwania wiedzy od ekspertów są wciąż doskonalone (por. punkt 4.3.). Dużą rolę odgrywa tutaj doświadczenie inżyniera wiedzy i współpraca z ekspertami. Eksperci nie zawsze są pozytywnie nastawieni do przekazywania swojej wiedzy, czasami wykazują nieufność, bywa że wprowadzają (nieświadomie) w błąd.

W niniejszym rozdziale przedstawione są elementy bazy wiedzy, metody reprezentacji wiedzy (reguły, sieci semantyczne, trójki <obiekt, atrybut, wartość>, ramy) oraz sposoby reprezentacji informacji niepewnej i niepełnej.

Specjaliści spierają się o definicję wiedzy. Na pewno nie wystarczy mówić o danych albo o informacjach, a więc pojęciach dobrze określonych i znanych. Wiedza obejmuje dodatkowo takie właściwości intelektu człowieka, jak zdolność do aktywnej modyfikacji zbioru znanych pojęć, kierowanie się zdrowym rozsądkiem czy znajdowanie analogii w znanych informacjach. Można więc przyjąć, że wiedza są to informacje potrzebne do tego, aby działanie systemu było uważane za inteligentne.

4.1. Metody reprezentacji wiedzy

Jednym z obszarów działalności inżynierii wiedzy jest reprezentacja wiedzy (ang. knowledge representation) dla potrzeb systemów eksperckich. Istnieje ścisły związek

pomiędzy reprezentacją wiedzy, konstrukcją bazy wiedzy a procedurami przetwarzania (zawartymi w maszynie wnioskującej). Mimo, że badania nad reprezentacją wiedzy trwają od początku prac nad sztuczną inteligencją, ciągle nie opracowano w pełni zadowalających inżynierów metod reprezentacji wiedzy i sposobów ich stosowania. Wojskowe systemy eksperckie nie różnią się w tym względzie od systemów powszechnego użytku.

Do najczęściej stosowanych obecnie metod reprezentacji wiedzy zalicza się:

- reguły (ang. rules),
- sieci semantyczne (ang. semantic networks),
- trójki <obiekt, atrybut, wartość> (ang. triplets),
- ramy (ang. frames).

Regułowa reprezentacja wiedzy jest jedną z najstarszych metod reprezentacji wiedzy, a jednocześnie najbardziej popularną. Wykorzystuje ona formalne zapisy i twierdzenia logiki. Reguły zapisywane są w następującej postaci:

JEŻELI Fakt1 I Fakt2 I ... Faktn TO Konkluzja.

Oznacza to, że jeżeli prawdziwe są przesłanki reguły (Fakt1, Fakt2,..., Faktn), to prawdziwa jest także Konkluzja. W związku z tym, iż przesłanki oraz konkluzję traktuje się jako wartości logiczne (prawda, fałsz), to reguły takie nazywa się predykatami, a ich przetwarzanie - rachunkiem predykatów. Przykładowe postaci reguł:

JEŻELI zasilanie włączone I
akumulator sprawny I
blokada wyłączona
TO

brak benzyny,

JEŻELI napęd odrzutowy I

układ skrzydeł - górnopłat I

liczba silników - dwa I

lokalizacja silników - z boku kadłuba I

kształt skrzydeł - wygięte w tył I

liczba stateczników - jeden I

wznios skrzydeł - ujemny I

kształt dzioba - ostry I

rodzaj usterzenia ogonowego - odwrócona litera T I

kształt wlotów powietrza - półkolisty I

lokalizacja wlotów powietrza - z boku kadłuba I

końce skrzydeł - proste

TO

Harrier GR5.

Inną postacią reguł są tak zwane reguły działania, które jako konkluzję zawierają opis postępowania w przypadku spełnienia jej przesłanek, na przykład:

JEŻELI zasilanie włączone I

akumulator sprawny I

blokada wyłączona I

samochód nie daje się uruchomić,

TO

sprawdź poziom paliwa,

JEŻELI nabój w komorze nabojowej I

spłonka nie jest uszkodzona I

pistolet nie strzela,

TO

sprawdź iglicę.

Jak już wcześniej wspomniano, w bazie wiedzy systemu, oprócz wiedzy nabywanej przez system, istnieje wiedza (metawiedza) opisująca sposób zachowania się systemu na przykład w trakcie procesu wnioskowania. Wiedza taka jest najczęściej zapisywana w postaci reguł. Reguły te mogą być poddawane zmianom w trakcie pracy systemu - mogą być one zmieniane przez sam system. Reguła taka może mieć następującą postać:

JEŻELI wnioskowanie zstępujące I

poziom grafu poszukiwań > 4 I

nie uzyskano żadnego rozwiązania

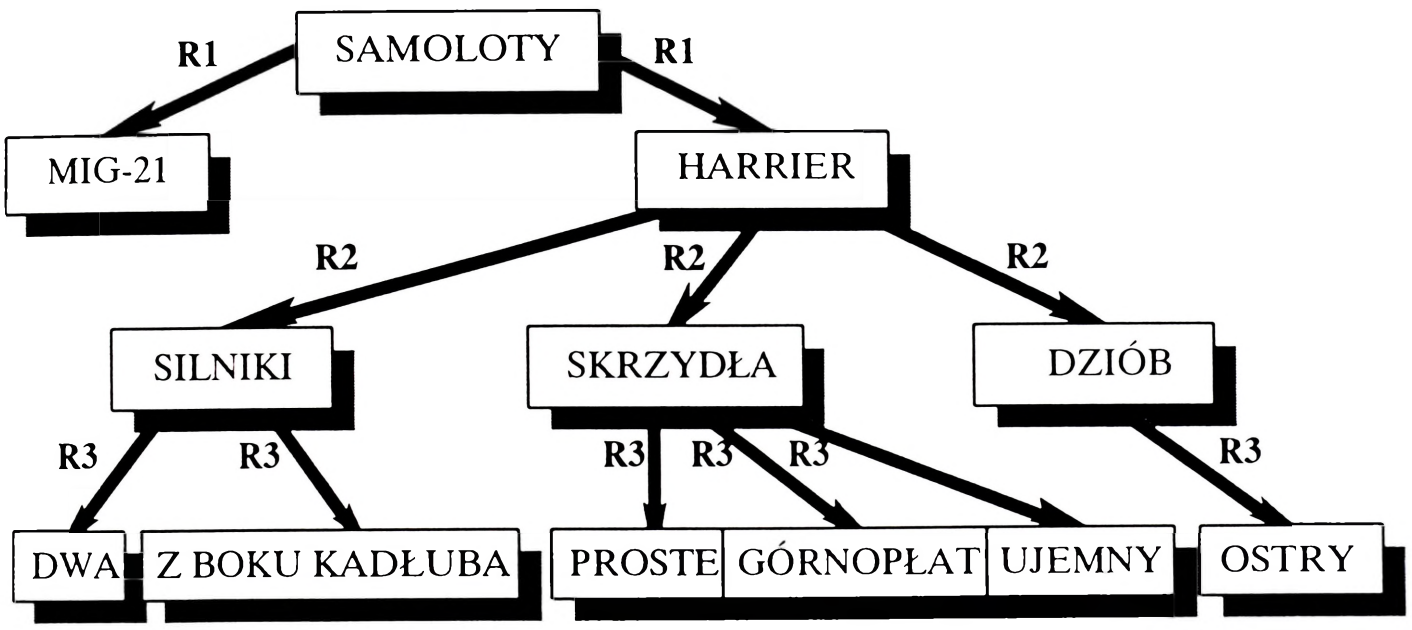
TO

zmień wnioskowanie na wstępujące.

W sytuacji, gdy przeszukiwanie było prowadzone z wykorzystaniem metody w przód i osiągnięto co najmniej czwarty poziom grafu poszukiwań, to w przypadku gdy nie uzyskano żadnego rozwiązania, reguła nakazuje zmianę kierunku poszukiwań na wstępujący. Polecenie wykonania zmiany kierunku poszukiwania wykonywane jest przez maszynę wnioskującą (oczywiście nie może to być jedyna reguła składająca się na

metawiedzę systemu - zestaw tych reguł musi być niesprzeczny i nie uniemożliwiać osiągnięcia jakiegoś rozwiązania, chociażby nie było ono najlepsze).

Sieć semantyczna opisuje rozpatrywany problem za pomocą dwóch zasadniczych elementów - obiektów i relacji zachodzących między nimi (co odpowiada sytuacjom występującym w rzeczywistości - na przykład obiektami mogą być jednostki wojskowe, a relacjami - ich wzajemna podległość). Sieć semantyczną jest grafem. W formie graficznej przykładowa sieć semantyczna przedstawiona jest na rysunku 4.1.



Rys.4.1. Przykład sieci semantycznej

Węzły w tej sieci stanowią obiekty, zaś łuki przedstawiają relacje. Na rysunku przedstawiono przykładowe trzy typy relacji, które w praktycznych zastosowania są najczęściej wykorzystywane (nie są to jedyne możliwe relacje; sieć semantyczna jest dość elastyczną metodą reprezentacji wiedzy). Są to:

R1 (O1 ,O2) - obiekt O2 jest elementem większej klasy obiektów O1 (na przykład czołg, transporter opancerzony, samochód ciężarowy są obiektami szerszej klasy obiektów nazywanych pojazdami wojskowymi);

R2 (O2 ,O3) - obiekt O3 wchodzi w skład obiektu O2 (na przykład wieża, działo, silnik stanowią elementy obiektu jakim jest czołg; batalion inżynieryjny, batalion rozpoznawczy, brygada zmechanizowana stanowią elementy dywizji);

R3 (O3 ,O4) - obiekt O4 jest pewną cechą charakteryzującą obiekt O3 (na przykład kaliber działa, jego szybkostrzelność stanowią jego cechy; wyposażenie i liczebność stanowią cechy oddziału).

Sieci semantyczne najczęściej wykorzystuje się do zapisania w zwięzłej formie wielu powiązanych stwierdzeń. Korzystając z już stworzonej sieci, można wyciągać nowe stwierdzenia, które dotychczas nie zostały zauważone. Z rysunku 4.1., przedstawiającego przykładową sieć, można odczytać pewne powiązania (ponieważ jest zobrazowana w postaci grafu): „Jednym z samolotów wojskowych jest Harrier GR5, który ma skrzydła o prostych końcach".

Jedną z odmian sieci semantycznych są tak zwane modele obliczeniowe, stosowane często w dziedzinach, w których istnieją ściśle ustalone zależności. Dzięki zastosowaniu modeli obliczeniowych, możliwe jest szybkie uzyskanie wyniku dla różnych zestawów danych wejściowych, a także istnieje możliwość sprawdzenia, czy w ogóle istnieje rozwiązanie. Wojskowym przykładem modelu obliczeniowego jest sieć do ustalania organizacji marszu wielkiej jednostki (np. dywizji), uwzględniająca różne trasy, odstępy między pododdziałami, czasy marszu i odpoczynku czy też przerw.

Sieci semantyczne mają także swoje wady. Jedną z nich jest trudność modyfikacji sieci w przypadku, gdy do systemu dociera nowa wiedza. Nawet niewielkie zmiany w wiedzy systemu opartego na tej metodzie reprezentacji mogą spowodować duże zmiany w strukturze sieci semantycznej. Na ogół nie ma możliwości automatycznej modyfikacji struktury sieci (co dość łatwo wykonać w przypadku regułowej metody reprezentacji wiedzy).

Metoda reprezentacji wiedzy za pomocą trójek <obiekt, atrybut, wartość> jest jedną z najprostszych i stanowi rozbudowę metody zapisu wiedzy w postaci dwójek <atrybut, wartość>. Wiedza dotycząca samolotu może być zapisana (z wykorzystaniem trójek) w następujący sposób:

<samolot, typ, Harrier GR5>,

<napęd, rodzaj, odrzutowy>

<silniki, liczba, 2>,

<silniki, lokalizacja, z boku kadłuba>,

<skrzydła, kształt, wygięte w tył>,

<stateczniki, liczba, 1>,

<skrzydła, wznios, ujemny>,

<dziób, kształt, ostry>,

<usterzenie ogonowe, rodzaj, odwrócona litera T>,

<wloty powietrza, kształt, półkolisty>,

<wloty powietrza, lokalizacja, z boku kadłuba>,

<końce skrzydeł, kształt, proste>.

Z powyższego wynika, że każda trójka stanowi pewne stwierdzenie dotyczące opisu samolotu - jego składniki, cechy oraz wartości tych cech. Jest to analogia do sieci semantycznych, gdzie pojedynczą relację pomiędzy dwoma obiektami można zapisać w postaci trójki <obiekt, atrybut, wartość>.

Ramy są najbardziej złożoną metodą reprezentacji wiedzy. Umożliwiają jednak bardzo wierne odtworzenie opisu rozpatrywanej dziedziny. Metoda ta opiera się na podstawowym elemencie, jakim jest rama, składająca się z tak zwanych szczelin (ang. slots), w których zapisywane są informacje. Pojedyncza rama może stanowić opis obiektu lub wybranego pojęcia. W poszczególnych szczelinach mogą być zapisywane informacje o dowolnym typie, w zależności od potrzeb: dane numeryczne, opisowe,

zbiory wybranych wartości, inne ramy, reguły postępowania. Oprócz tego, w szczelinach mogą być zapisywane reguły czy procedury postępowania. Każda z ram powinna być wyposażona w poniżej przedstawiony zestaw szczelin, które zostały ustalone w trakcie prac związanych z wykorzystaniem ramowej reprezentacji wiedzy:

WARTOŚĆ - dana przechowywana w ramie;

DOMYŚLNE - procedura ta określa domyślną wartość klatki WARTOŚĆ w przypadku, gdy wcześniej nie została ona ustalona, a system żąda podania jej wartości;

WYMAGA - procedura ta ustala ograniczenia na wartości zapisywane do szczeliny WARTOŚĆ wynikające z przyjętych założeń;

REGUŁA WNIOSKOWANIA - zawiera regułę wnioskowania, która może zostać uruchomiona przez system w celu zmiany wartości szczeliny WARTOŚĆ;

JEŻELI POTRZEBNE - procedura ta określa nową wartość szczeliny WARTOŚĆ, w przypadku gdy wymagane jest obliczenie nowej wartości ze względu na zmiany zachodzące w systemie;

JEŻELI DODANE, USUNIĘTE - procedura ta określa nową wartość szczeliny WARTOŚĆ w przypadku jej zmiany;

KASUJ - procedura ta ustala wartości początkowe szczeliny WARTOŚĆ.

TYP	WYMAGA - Nazwa (20 znaków)
NAPĘD	WYMAGA - "odrzutowy", "śmigłowy", "inny"
SILNIKI - LICZBA	WYMAGA - liczba z zakresu [0 .. 4]
SKRZYDŁA - UKŁAD	WYMAGA - "górnopłat", "średniopłat", "dolnopłat"

Rys.4.2. Przykład ramy prototypu

Koncepcja ram umożliwia nadanie autonomiczności poszczególnym obiektom, a w związku z tym odciążenie całego systemu od wykonywania takich czynności jak sprawdzanie poprawności danych lub ustalanie wartości domyślnych. Procedury wykorzystywane wyłącznie przez ramę nazywane są „demonami" (wywoływane są jednocześnie z dostępem do ramy), zaś procedury, które mogą być bezpośrednio wywoływane przez system noszą nazwę „sług".

Rama może opisywać zarówno pojęcie jak i konkretny obiekt. Pojęcie nazywane jest często prototypem lub wzorcem, obiekt - egzemplarzem. Proces wyszukiwania informacji w bazie wiedzy zbudowanej z wykorzystaniem ramowej reprezentacji polega na ukonkretnianiu ramy prototypu do momentu, gdy stanie się jej egzemplarzem. W kolejnych krokach uzupełniane są szczeliny. Wykorzystuje się przy tym zawarte w niej procedury. W momencie gdy wszystkie żądane szczeliny zostaną uzupełnione, rama stanowi rozwiązanie. Rysunek 4.2. przedstawia przykład ramy prototypu dotyczącej opisu statku powietrznego. Opis składa się z: nazwy typu, rodzaju napędu, liczby silników i układu skrzydeł. Typ opisany jest za pomocą 20 znaków alfanumerycznych, rodzaj napędu pochodzi ze zbioru {'odrzutowy', 'śmigłowy', 'inny'}, liczba silników musi należeć do przedziału [0..4], a układ skrzydeł jest elementem zbioru {'górnopłat', 'średniopłat', 'dolnopłat'}. Dla powyższego przykładu przedstawiono jeden z możliwych egzemplarzy tej ramy (rysunek 4.3.).

TYP	WARTOŚĆ - HARRIER GR5
NAPĘD	WARTOŚĆ - "odrzutowy"
SILNIKI - LICZBA	WARTOŚĆ - " 2 "
SKRZYDŁA - UKŁAD	WARTOŚĆ - "górnopłat"

Rys.4.3. Przykład ramy egzemplarza

Reprezentacja wiedzy za pomocą ram występuje często w powiązaniu z reprezentacją w postaci sieci semantycznych, w których węzłami są ramy . Zastosowanie ram w takim powiązaniu wymaga dodatkowych szczelin określających miejsce ramy w strukturze sieci oraz jej powiązań.

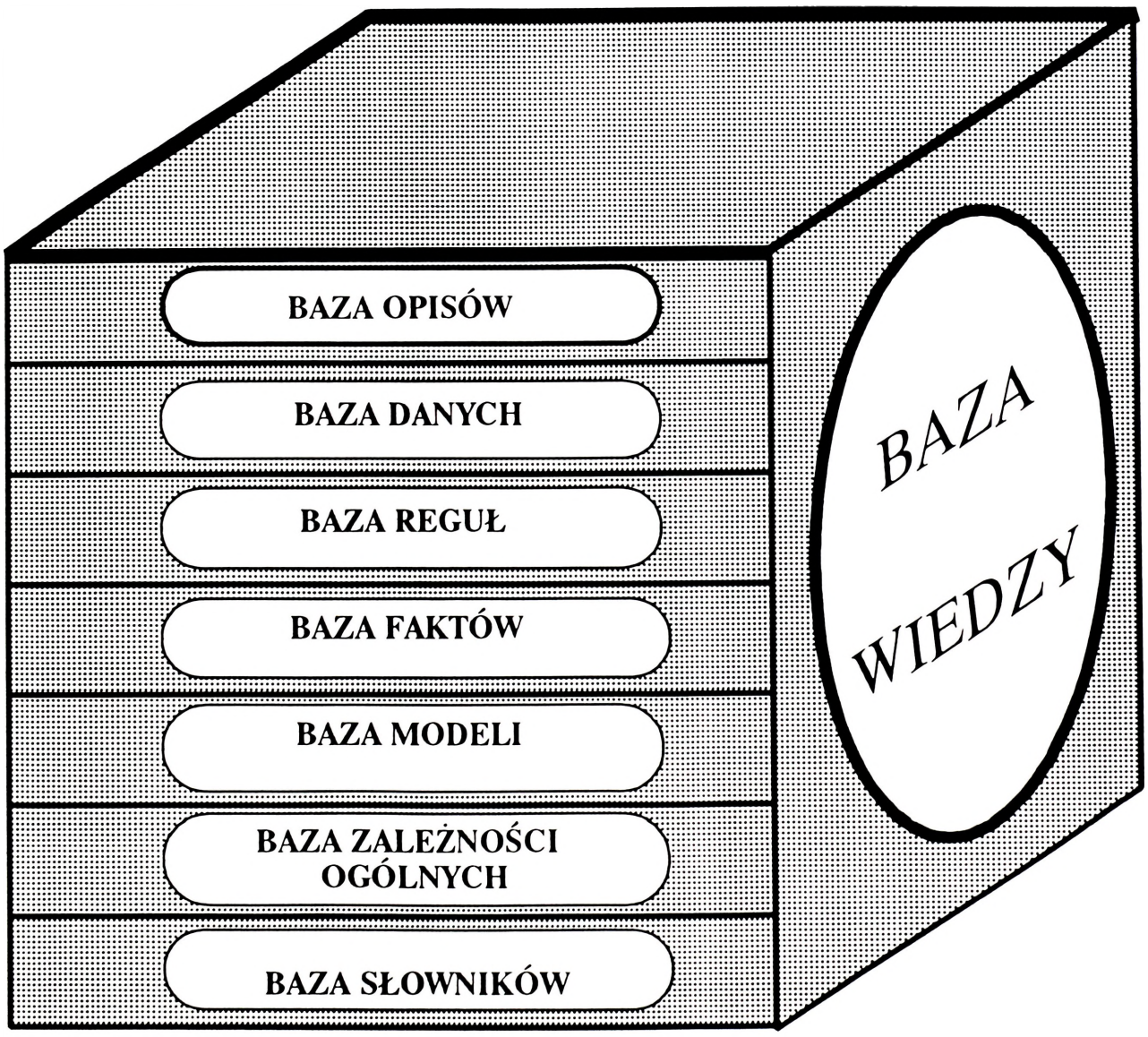
Wybór konkretnego sposobu reprezentacji wiedzy jest zazwyczaj podyktowany charakterystyką dziedziny wiedzy, strukturą typowych problemów rozwiązywanych przez ekspertów oraz narzędziami dostępnymi do budowy systemów eksperckich. W pierwszych systemach do reprezentacji wiedzy używano reguł i do dzisiaj są one najczęściej stosowane, chociaż pojawia się coraz więcej systemów typu hybrydowego, które łącza kilka z omówionych sposobów reprezentacji wiedzy (a nawet do reprezentacji wiedzy coraz częściej wykorzystuje się sieci neuronowe, będące elementami systemów eksperckich).

4.2. Struktura bazy wiedzy

Baza wiedzy systemu eksperckiego jest jego zasadniczą częścią (obok maszyny wnioskującej). Struktura bazy wiedzy jest bezpośrednią konsekwencją wyboru metody reprezentacji wiedzy. W bazie wiedzy zapisane są wszystkie informacje, które posiada system i które może wykorzystać. Poprawny wybór struktury bazy wiedzy gwarantuje możliwość bezbłędnej pracy systemu. Błędy na etapie wyboru metody reprezentacji mogą uniemożliwić uzyskanie rozwiązania. W zależności od konkretnych rozwiązań, baza wiedzy może składać się kilku zasadniczych części. Na ogół baza wiedzy zawiera: bazę opisów, bazę danych, bazę reguł, bazę faktów, bazę modeli, bazę zależności ogólnych oraz bazę słowników (rysunek 4.4.).

Baza opisów zawiera ogólne informacje z zakresu rozpatrywanej dziedziny. Są one przechowywane w mało sformalizowanej formie (całe opisy lub ich fragmenty)[1)].

Typowa baza danych może też być częścią bazy wiedzy. Dane mogą być tu przechowywane na przykład w postaci relacji i przetwarzane zgodnie z przyjętymi zasadami. Baza danych dołączana jest do systemów eksperckich najczęściej z powodów komercyjnych, w celu zwiększania ich możliwości i połączenia wszystkich funkcji, które muszą wykonywać osoby obsługujące (może na przykład zawierać dane ewidencyjne wszystkich żołnierzy danej jednostki).



Rys.4.4. Struktura bazy wiedzy

[1)] Może to być przykładowo opis konstrukcji karabinu, organizacji jakiegoś oddziału czy sposobu postępowania przy wykrywaniu usterek w działaniu silnika czołgu.

Zasadniczą częścią bazy wiedzy systemu jest baza reguł. Zawiera opis wiedzy zgodnie z przyjętą metodą reprezentacji (w naszym przypadku w postaci reguł). Mechanizm wnioskowania operuje właśnie na tej części bazy wiedzy, pozostałe stanowią jedynie jej uzupełnienie. Baza wiedzy ma największy procentowy udział w bazie wiedzy (pod względem zajętości pamięci). Ważna jest zatem optymalizacja wykorzystania pamięci.

Przed rozpoczęciem procesu wnioskowania (lub w trakcie jego wykonywania) zbierane są przez system fakty opisujące rozpatrywany problem. Trafiają one do wydzielonej części bazy wiedzy, nazwanej baza faktów. Zebrane w systemie fakty stanowią punkt wyjściowy do przeprowadzenia procesu wnioskowania, w trakcie którego mogą zostać ustalone nowe fakty, także zapisywane w tej części bazy wiedzy. Fakty te w procesie wnioskowania stają się przesłankami, na podstawie których wyciągane są konkluzje (wnioski).

Baza modeli zawiera opis tej części wiedzy, która jest dokładnie zdefiniowana. Mogą być w niej przechowywane modele obliczeniowe zjawisk fizycznych, które opisywane są przez ustaloną liczbę parametrów. Wykorzystanie modeli polega na podaniu wartości części z nich, w celu uzyskania wartości pozostałych parametrów. Umiejętne wydzielenie modeli obliczeniowych z analizowanej dziedziny może w znaczny sposób przyspieszyć działanie systemu, a jednocześnie umożliwi uniknięcie przypadkowych błędów[2)].

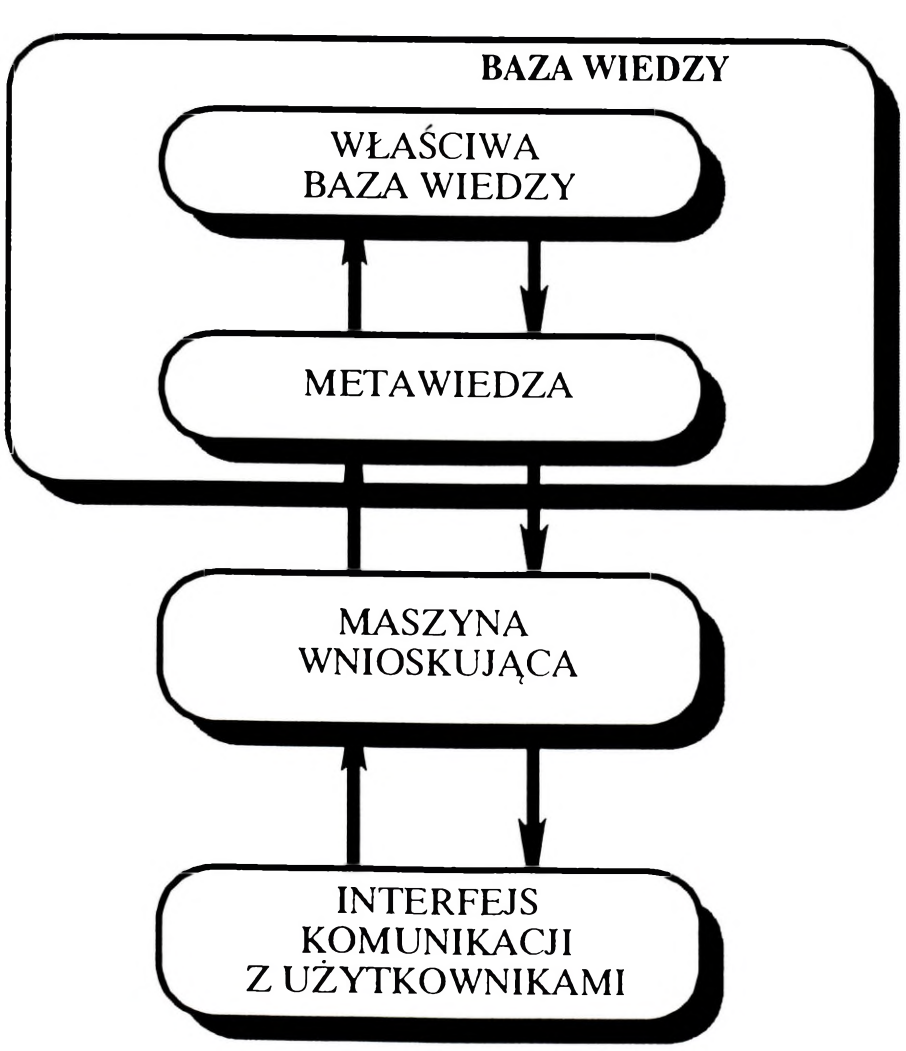
Część bazy wiedzy zawierająca informacje na temat sposobów posługiwania się wiedzą zgromadzoną w systemie to baza zależności ogólnych. Jest to tak zwana metawiedza (ang. metaknowledge), czyli wiedza o wiedzy. Jedynie w dużych systemach w bazie wiedzy wydziela się specjalne miejsce do przechowywania zasad

---

[2)] Jako przykład modelu można podać algorytm (wraz z danymi wejściowymi) obliczania zużycia paliwa przez samoloty w powietrzu (uwzględniający typ samolotu, warunki lotu, wykonywane zadanie, warunki pokonania OPL przeciwnika czy przenoszone uzbrojenie).

funkcjonowania systemu. Umożliwia to jednak łatwiejsze panowanie nad systemem - komunikowanie się z otoczeniem, pracę maszyny wnioskującej oraz kontrolę stanu wiedzy (sprzeczności, nadmiarowości). Na rysunku 4.5. przedstawiono miejsce metawiedzy w systemie eksperckim.

Baza słowników zawiera określenia i sformułowania specjalistyczne z rozpatrywanej dziedziny wiedzy. Posługiwanie się takimi pojęciami w trakcie komunikacji z użytkownikiem może w znaczny sposób ułatwić wzajemne porozumiewanie się. Fachowe zwroty i sformułowania zwiększają wiarygodność rozwiązań prezentowanych przez system - budzą zaufanie (jest to bardzo ważne w przypadku specyficznego języka wojskowego, zawierającego wiele zwrotów i pojęć, nie zawsze będących w pełnej zgodności z ogólnymi zasadami poprawności językowej).



Rys.4.5. Metawiedza w systemie eksperckim

Wybór struktury bazy wiedzy systemu zależy od decyzji projektowych inżyniera wiedzy. W zależności od potrzeb użytkownika i koncepcji, dokonuje on wyboru, które z wymienionych elementów będą wchodziły w skład bazy wiedzy.

4.3. Pozyskiwanie wiedzy w systemach eksperckich

Problem pozyskiwania wiedzy (ang. knowledge acquisition) w systemach eksperckich zyskuje coraz bardziej na znaczeniu. Wynika to między innymi z faktu, że system ekspercki dysponujący ograniczoną bazą wiedzy, nawet wyposażony w rozwiniętą maszynę wnioskującą, jest mniej efektywny niż podobny, ale o rozbudowanej bazie wiedzy.

Wiedza ma pewne cechy, które nie ułatwiają jej opanowania. Wiedza jest na ogół rozproszona. Jej elementy są umieszczone na różnych nośnikach i w wielu źródłach, do których dotarcie dla osoby nie zorientowanej w danej dziedzinie (a taką osobą jest niewątpliwie potencjalny twórca systemu eksperckiego - inżynier wiedzy) jest omal niemożliwe. Stąd wynika fakt, że wiedza jest trudna do zgromadzenia.

Wiedzę trudno jest zastosować. Nawet opanowawszy podstawowe elementy wiedzy, możemy mieć istotne trudności z jej zastosowaniem do rozwiązania konkretnego problemu (tym bardziej, gdy jak w przypadku problemów militarnych nie ma pełnej jednoznaczności rozwiązań).

W wielu przypadkach występują trudności w udostępnianiu (powielaniu) wiedzy. Trzeba wszak pamiętać, że nie chodzi bynajmniej o możliwość dystrybucji faktów, lecz o rozpowszechnianie świadomości powiązań między nimi i umiejętności wykorzystywania tych powiązań.

Posługując się wiedzą z danej dziedziny, możemy często odczuwać jej niewystarczającość do praktycznego zastosowania. Wiedza bywa niejasna lub

nieokreślona. Występują w niej niekonsekwencje (sprzeczności). Nie można także pominąć faktu, że wiedza zmienia się (jej elementy rzadko są ustalone raz na zawsze), a to wymaga uzupełniania bazy wiedzy i weryfikacji zarówno nowych jej elementów, jak i tych, które były już w bazie wiedzy wcześniej.

Jak do tej pory, z powyższymi kłopotami w stosowaniu wiedzy radzi sobie (i to nie zawsze w pełni) umysł ludzki. Jest on dokładny i łatwy w użyciu (dla posiadacza). Pamięć ludzka jest dość trwała i szybka (jeśli chodzi o tempo odtwarzania wiedzy i jej przetwarzania). Umysł ludzki jest w ciągłej gotowości i wykazuje aktywność (na przykład w wykrywaniu niespójności i niekompletności wiedzy).

Powyższe trudności w gromadzeniu i użyciu wiedzy z jednej strony, a zalety umysłu człowieka eksperta z drugiej, spowodowały zainteresowanie wykorzystaniem ekspertów w procesie pozyskiwania wiedzy.

W początkowym etapie rozwoju systemów eksperckich zagadnienie pozyskiwania wiedzy pozostawało jakby na marginesie zainteresowań inżynierów wiedzy. Z czasem przekonano się o jego istotności. Pozyskiwanie wiedzy okazało się czasochłonne i mało efektywne. Stąd badania nad metodami jej pozyskiwania stały się jednym z głównych problemów w inżynierii systemów eksperckich.

Można wyróżnić [10] co najmniej kilka powodów, dla których rozwój formalnych metod pozyskiwania wiedzy jest istotny:

- niechęć ekspertów do współpracy,
- nieświadomość tego, co się wie,
- przekłamania w czasie werbalizacji wiedzy przez ekspertów,
- istotne różnice między myśleniem człowieka a przetwarzaniem wiedzy w systemie eksperckim,
- konieczność uczestnictwa inżyniera wiedzy w trakcie werbalizacji wiedzy eksperta.

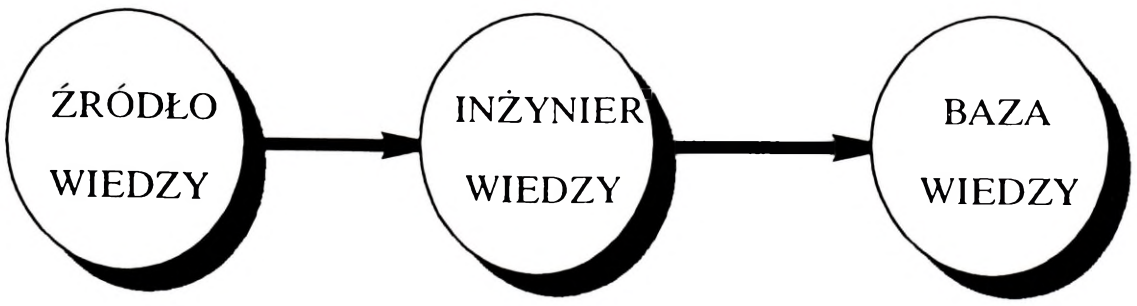
Konieczność pokonania powyższych trudności doprowadziła do opracowania wielu metod pozyskiwania wiedzy.

4.3.1. Klasyfikacja metod pozyskiwania wiedzy

Szerokie spektrum metod pozyskiwania wiedzy wymaga pewnej klasyfikacji. Biorąc pod uwagę stopień zaangażowania oprogramowania w pozyskiwanie i kreowanie wiedzy, metody jej pozyskiwania można podzielić na:

- manualne (ang. manual methods),
- półautomatyczne (ang. semi-automatic methods),
- automatyczne (ang. automatic methods).

Manualne metody pozyskiwania wiedzy (rysunek 4.6.) przydatne są na ogół na etapie projektowania i przygotowania prototypu systemu eksperckiego. Ich istotą jest zebranie od ekspertów dziedzinowych wiedzy niezbędnej do utworzenia „szkieletu" nowo projektowanego systemu. Stosowanie metod manualnych na dalszych etapach życia systemu eksperckiego jest dość ograniczone (choć nie można tego wykluczyć - na przykład w momencie wejścia do wyposażenia nowych rodzajów uzbrojenia czy w razie zmiany organizacji wojsk, a także analogicznych zmian zachodzących u przeciwnika).



Rys.4.6. Manualne pozyskiwanie wiedzy

W prostych przypadkach pozyskiwanie wiedzy sprowadza się do umieszczenia elementów wiedzy (reprezentowanej w postaci reguł, trójek, ram, sieci semantycznych czy odpowiedniej hybrydy) w bazie wiedzy. Taki sposób pozyskiwania wymaga współpracy między ekspertem dziedzinowym, będącym źródłem wiedzy (ang. source of knowledge), a inżynierem wiedzy. Oczywiście główna rola w manualnym pozyskiwaniu wiedzy przypada inżynierowi wiedzy. To on musi uzyskać od eksperta informacje dotyczące przedmiotowej dziedziny wiedzy i umieścić je w odpowiedniej formie w bazie wiedzy (mając cały czas na uwadze przyszłe funkcjonowanie systemu).

Najpopularniejszymi wśród manualnych metod pozyskiwania wiedzy są:

- wywiad (ang. interview),
- analiza protokółów (ang. report analyse),
- „przerobienie" problemu (ang. going through the problem),
- kwestionariusze (ang. questionary),
- raport eksperta (ang. expert's report),
- "burza mózgów" (ang. brainstorming).

Posuwając się w kierunku automatycznych metod pozyskiwania wiedzy, można wyróżnić formę pośrednią - metody półautomatyczne. Ekspert ma w tym przypadku możliwość dialogu z systemem. Może przy tym rozwiązywać problemy (przykłady) lub odpowiadać na pytania systemu. W tym przypadku cała wewnętrzna struktura systemu nie jest "widoczna" ani dla eksperta, ani dla inżyniera wiedzy. Moduł pozyskiwania wiedzy jest w stanie wprowadzoną przez eksperta wiedzę (na przykład w postaci związków pytanie-odpowiedź) umieścić w bazie zgodnie z przyjętą przez inżyniera wiedzy reprezentacją.

Półautomatyczne metody pozyskiwania wiedzy mają w swoim założeniu współpracę systemu z ekspertem (a nawet bezpośrednim użytkownikiem - co jest szczególnie cenne, gdyż umożliwia akwizycję wiedzy nie tylko w wyniku kontaktu

z ekspertem, ale także w trakcie normalnej pracy użytkowej systemu). System ma za zadanie weryfikować i porządkować wiedzę pozyskiwaną od użytkownika. Bada przy tym jej redundancję i ewentualną sprzeczność. W przypadkach wątpliwych system może zadawać dodatkowe pytania. W ten sposób pozyskana wiedza jest na ogół poprawna (choć nie musi być kompletna). Półautomatyczne pozyskiwanie wiedzy (rysunek 4.7.) kojarzone jest zazwyczaj z tzw. maszynowym uczeniem (ang. machine learning). Polega ono na pozyskiwaniu wiedzy w trakcie dialogu systemu eksperckiego z ekspertem lub użytkownikiem. Ponieważ pozyskiwanie wiedzy odbywa się w tym przypadku na drodze wielokrotnego analizowania szczególnych przypadków (przykładów), metody półautomatycznego pozyskiwania wiedzy określane są czasami trenowaniem (ang. training) systemu.

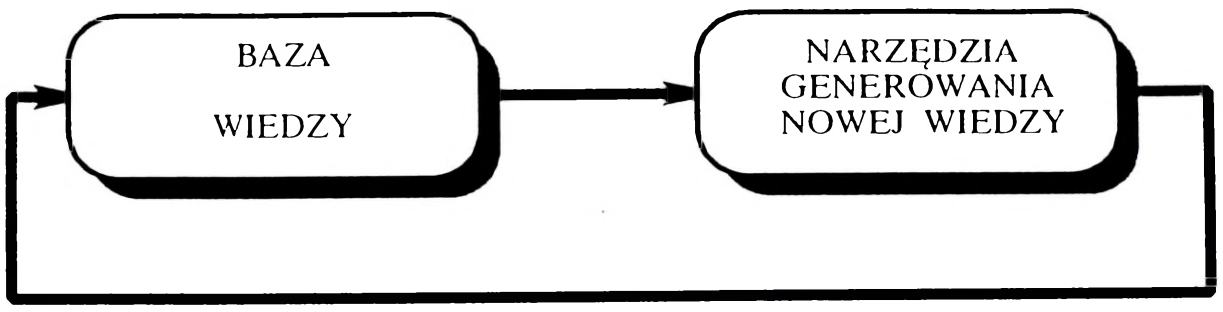
Maszynowe uczenie można podzielić na:

- uczenie przez zapamiętywanie (ang. rote learning),
- uczenie na podstawie instrukcji (ang. learning by being told),
- uczenie na przykładach (ang. learning from examples),
- uczenie przez analogię (ang. learning by analogy).

Rys.4.7. Półautomatyczne pozyskiwanie wiedzy

Najbardziej zaawansowanymi metodami pozyskiwania wiedzy są metody automatyczne (rysunek 4.8.). Nie jest tu niezbędny udział eksperta czy inżyniera wiedzy.

Ekstrahowanie nowej wiedzy odbywa się z wykorzystaniem wiedzy już wcześniej wprowadzonej. Nie ma więc potrzeby kontaktu z otoczeniem systemu. Procedury pozyskiwania wiedzy mogą działać autonomicznie, analizując wiedzę zgromadzoną w bazie wiedzy. Działanie tych procedur ukierunkowane jest głównie na wykrywanie i usuwanie redundancji i sprzeczności w bazie wiedzy. Wiedza pozyskana w sposób automatyczny jest na bieżąco wykorzystywana w pracy systemu (do rozwiązywania problemów).



Rys.4.8. Automatyczne pozyskiwanie wiedzy

Doświadczenia uzyskane przy projektowaniu i budowie systemów eksperckich wskazują, że najbardziej efektywną formą pozyskiwania wiedzy jest analiza przykładów i kontrprzykładów. Forma ta jest wykorzystywana w półautomatycznych metodach pozyskiwania wiedzy, ale zasadnicze znaczenie ma w odniesieniu do metod automatycznych. Przykłady są podstawą do indukcyjnego wyciągania wniosków ogólniejszych (tworzenia reguł). Zbiór przykładów jest wystarczającą postawą do tworzenia nowej wiedzy (bez żadnych dodatkowych źródeł zewnętrznych). Jednak ta nowa wiedza nie musi być w pełni poprawna. Stąd zachodzi konieczność jej weryfikacji, w szczególności poprzez konfrontację ze sprawdzoną wiedzą zgromadzoną już wcześniej w systemie (na przykład nowe informacje o środkach radiowych używanych

przez przeciwnika muszą ulec weryfikacji w oparciu o znane jego ugrupowanie, rozpoznane wcześniej).

Jak wspomniano, pozyskiwanie wiedzy urasta do roli jednego z ważniejszych problemów w dalszym rozwoju systemów eksperckich. Szczególnie metody automatycznego pozyskiwania wiedzy (wciąż jeszcze najtrudniejsze, najsłabiej rozwinięte) będą musiały być intensywnie doskonalone. Duże nadzieje w tym względzie są pokładane w sieciach neuronowych.

4.3.2. Wybrane metody pozyskiwania wiedzy

Różnorodność metod pozyskiwania wiedzy nie pozwala (ze względu na szczupłość miejsca) omówić dokładnie wszystkich z nich. Skupmy się więc na bardzo ogólnej, z konieczności, charakterystyce wybranych metod, najbardziej popularnych, o największym znaczeniu praktycznym.

4.3.2.1. Manualne metody pozyskiwania wiedzy

Wywiad jest najczęściej wstępnym etapem pozyskiwania wiedzy. Sprowadza się do rozmowy inżyniera wiedzy z ekspertem dziedzinowym (dowódcą, oficerem rozpoznawczym czy specjalistą od eksploatacji techniki wojskowej). Wywiady można podzielić zasadniczo na dwie grupy:

- wywiady niestrukturalne,
- wywiady strukturalne.

Wywiad niestrukturalny uważany jest na ogół za wywiad wstępny. Ekspert nie jest ograniczany przez inżyniera tematyką wypowiedzi. Jego zadaniem jest „opowiadanie" o problemie z użyciem własnych pojęć i nazewnictwa. Może przy tym określić własną koncepcję rozwiązania problemu, sugerując w ten sposób inżynierowi wiedzy kształt przyszłych rozwiązań w systemie eksperckim. W takiej formie wywiadu rola eksperta jest dominująca, inżynier wiedzy jest w zasadzie słuchaczem (choć często musi udzielić pomocy ekspertowi w wyartykułowaniu jego wiedzy w sposób przydatny potem przy konstruowaniu systemu eksperckiego).

W wywiadzie strukturalnym role jego uczestników są odwrócone - wywiadem kieruje inżynier wiedzy. Zadaje pytania o konkretne zagadnienia (korzystając zwykle z wiedzy nabytej w czasie wcześniejszego wywiadu niestrukturalnego). Ekspert ma za zadanie rzeczowe formułowanie odpowiedzi (do czego inżynier wiedzy powinien go zmusić poprzez odpowiednio postawione pytania[3)].

Wyższą formą akwizycji wiedzy jest analiza protokółów. Polega ona na zapoznaniu się przez inżyniera wiedzy z protokółami sporządzonymi przez ekspertów w czasie rozwiązywania problemów. Protokóły powinny zawierać istotne czynności (kroki) wykonywane przez eksperta (na przykład analiza zadania, ocena położenia własnego i przeciwnika, podjęcie decyzji, sformułowanie rozkazu). Protokóły mogą być sporządzane przez ekspertów samodzielnie lub wspólnie z inżynierem wiedzy (ta druga forma umożliwia często lepsze zrozumienie przez eksperta sposobu rozwiązywania).

Bezpośredni udział w rozwiązywaniu problemu (a co za tym idzie praktyczne zapoznanie się ze sposobem postępowania i regułami nim rządzącymi) zapewnia inżynierowi wiedzy „przerobienie" problemu. Inżynier wiedzy występuje w tym przypadku w roli wykonawcy (ucznia), a ekspert jako nadzorujący (instruktor). Inżynier

---

[3)] Nie można, na przykład, zapytać dowódcy w jaki sposób podejmuje decyzje, bo jest to zwykle pytanie zbyt ogólne, na które padnie tak samo ogólna odpowiedź. Lepsze są już pytania o przesłanki (podstawy) podjęcia decyzji, choć i odpowiedzi na nie mogą wymagać dalszych uszczegółowień, gdyż w pierwotnej formie nie wystarczą do wypełnienia bazy wiedzy i zaprojektowania maszyny wnioskującej.

jest kierowany przez eksperta, podpowiadane są mu kolejne kroki. Może przy tym zadawać pytania odnośnie do etapów istotnych dla rozwiązania. „Przerobienie" problemu wydaje się być najefektywniejszą formą pozyskania wiedzy o strategii rozwiązywania problemu (po wcześniejszym zorientowaniu się w dziedzinie przedmiotowej, na przykład w trakcie wywiadu).

Swoistą formą wywiadu prowadzonego przez inżyniera wiedzy wśród ekspertów są kwestionariusze. Odpowiedzi na pytania postawione w kwestionariuszach dają inżynierowi wiele wiedzy na temat problemu i jego rozwiązania. Są dlatego cenne, że to inżynier formułując pytania wymusza ekstrahowanie wiedzy. Na ogół odpowiedzi wnoszą tym więcej istotnych informacji, im są krótsze. Nie dość, że na podstawie kwestionariuszy inżynier wiedzy ma możliwość pozyskania nowych koncepcji, to ponadto ekspert może skomentować pytania i ocenić ich prawidłowość, a także zasugerować inne pytania, na przykład uogólniające wiedzę (co samemu inżynierowi wiedzy może przyjść z dużym trudem lub wręcz wykona to niepoprawnie).

Raport eksperta, mimo formalnego podobieństwa do analizy protokółów, jest jakościowo innym sposobem pozyskiwania wiedzy. Nie stanowi sprawozdania z rozwiązywania problemu (jak protokół), lecz opis danych i reguł niezbędnych do rozwiązania zadania, a także strategii i etapów postępowania oraz oczekiwanych rezultatów (nadaje się więc znakomicie w procesie budowy systemów diagnostycznych - na przykład do diagnozowania usterek w urządzeniach techniki wojskowej). Inżynier wiedzy może pomóc ekspertowi w sporządzeniu raportu, przygotowując zestaw znanych mu wcześniej faktów i reguł oraz oczekując wskazania związków między nimi w trakcie tworzenia raportu (przykładowo dotyczących powiązania objawów z przyczynami uszkodzeń).

Metodą dobrze znaną z projektowania innych systemów informatycznych jest „burza mózgów". Podstawą jej jest zgromadzenie w jednym miejscu i w tym samym

czasie możliwie wielu ekspertów. Powinni oni mieć zróżnicowane kwalifikacje i różne poglądy na rozwiązywanie rozpatrywanych problemów. W trakcie „burzy mózgów" eksperci mają możliwość swobodnej wymiany poglądów. Rolą inżyniera wiedzy jest umiejętne rejestrowanie potrzebnych informacji.

4.3.2.2. Uczenie maszynowe

Uczenie przez zapamiętywanie to najprostsza forma uczenia (zaliczana już do klasy półautomatycznych metod pozyskiwania wiedzy). Polega na bezpośrednim wprowadzaniu wiedzy do systemu eksperckiego. System jest całkowicie bierny. Inżynier wiedzy (lub w niektórych przypadkach ekspert dziedzinowy) wprowadza elementy wiedzy zgodnie z wcześniej przyjętą strukturą bazy wiedzy. Kontrola poprawności sprowadzona jest w zasadzie do formalnej weryfikacji informacji.

Wyższą formą uczenia jest uczenie na podstawie instrukcji. Jest to sposób bardzo zbliżony do uczenia człowieka - z książek, publikacji, wykładów, filmów. Wymaga aktywności ze strony systemu eksperckiego. Jego rolą jest selekcja i przetworzenie wiedzy wprowadzanej przez eksperta lub inżyniera wiedzy do postaci wewnętrznej. Konieczna jest przy tym kontrola nowo wprowadzanej wiedzy pod względem niesprzeczności z już posiadaną. Oczywiście system nie „dostrzega" faktów i prawidłowości, jeżeli nie zostały mu podane w sposób jawny.

Uczenie na przykładach zakłada ścisłą współpracę eksperta i systemu eksperckiego. Ponieważ sprowadza się do rozwiązywania przez eksperta różnych szczególnych przypadków z wykorzystaniem systemu eksperckiego, kolejne rozwiązania służą do uzupełniania wiedzy systemu. Każdy nowy przykład jest porównywany z istniejącą wiedzą. Jeżeli jest z nią zgodny, to „wzmacnia" prawidłowości znane

systemowi. Natomiast wprowadzenie przykładu sprzecznego ze stanem wiedzy powoduje konieczność indywidualnego rozpatrzenia takiego przypadku przez eksperta - zawiera on nieprawdę lub wcześniejsza wiedza jest nieprawdziwa.

Uczenie przez analogie wymaga aktywności ze strony systemu eksperckiego. Idea takiego sposobu pozyskiwania wiedzy polega na wskazywaniu przez eksperta (lub ewentualnie inżyniera wiedzy) analogii w rozwiązywanym zagadnieniu do wcześniej rozwiązanych problemów. System ekspercki ma za zadanie wybór jednego z przykładów rozwiązanych wskazaną (analogiczną) metodą, zidentyfikowanie elementów wiedzy użytych w starym rozwiązaniu i próbę rozwiązania nowego zadania. W całym procesie ekspert powinien kontrolować prawidłowość znajdowania analogii, gdyż ten sposób nabywania wiedzy (w odróżnieniu od poprzednich) nie gwarantuje wyciągnięcia prawdziwych wniosków na podstawie prawidłowych przesłanek.

Uczenie przez analogię może niekiedy odbywać się bez udziału eksperta czy inżyniera wiedzy (autonomicznie). Wtedy, oczywiście, metodę taką musimy zakwalifikować do grupy automatycznych metod pozyskiwania wiedzy. Jednak ponieważ wyciąganie analogii przez system ekspercki jest często niedoskonałe, uczenie przez analogię wymaga ingerencji eksperta (nawet post factum). Metoda ta leży więc na pograniczu metod półautomatycznych i automatycznych.

Automatyczne metody pozyskiwania wiedzy są dopiero w trakcie rozwoju. Nadal pozyskiwanie wiedzy jest na tyle trudne, że nie można go powierzyć wyłącznie systemowi eksperckiemu. Niezbędna jest nadal kontrola i weryfikacja postępowania w tym zakresie przez eksperta dziedzinowego, we współdziałaniu z inżynierem wiedzy.

Twórcy automatycznych metod pozyskiwania wiedzy wykorzystują najczęściej dwie podstawowe metody prowadzenia badań: indukcję (ang. induction) i dedukcję (ang. deduction). U ich podstaw leży założenie o aktywności systemu eksperckiego w pozyskiwaniu wiedzy. Uczenie się indukcyjne prowadzi do uogólnień powstających na

bazie zebranych przykładów (przypadków). Przypadki są analizowane nie pod kątem przynależności do jakiejś określonej już klasy, lecz w kierunku wyodrębnienia cech umożliwiających łączenie ich w grupy (klasy). W ten sposób tworzona jest hierarchia. Aktywność systemu eksperckiego przejawia się również w tworzeniu nowych pojęć (a nie tylko w dopasowywaniu przykładów do już znanych określeń).

Wykorzystanie dedukcji w systemach eksperckich polega na wyciąganiu wniosków na podstawie faktów już istniejących w bazie wiedzy. Prawdziwość tych faktów zapewnia poprawność generowanych nowych wniosków.

5. PRZETWARZANIE WIEDZY W SYSTEMACH EKSPERCKICH

Baza wiedzy (zgodnie z jej nazwą) stanowi tylko podstawę do wnioskowania w systemie eksperckim. Wnioskowaniem zajmuje się maszyna wnioskująca. Najprościej ujmując, jej zadaniem jest analiza przesłanek i wyciąganie z nich wniosków (konkluzji) lub znalezienie przesłanek (ang. premises) potwierdzających postawioną hipotezę (ang. hypothesis). Możemy mieć oczywiście do czynienia z jeszcze innymi strategiami wnioskowania, niemniej jednak dwie wymienione są najczęściej używane, a języki zorientowane na przetwarzanie wiedzy są na ogół wyposażone w stosowne konstrukcje programowe.

Poszukiwanie rozwiązań nie jest problemem samym w sobie. System ekspercki nie jest po to, by poszukiwał rozwiązań. On ma je podawać (proponować użytkownikowi; najlepiej jeżeli nie będzie to jedno rozwiązanie, lecz kilka, uszeregowanych, na przykład, według wiarogodności). Stąd, jeżeli będziemy dysponować pełniejszą wiedzą (szerszą bazą wiedzy), to na ogół będziemy mogli ograniczyć poszukiwania, co uczyni nasz system bardziej efektywnym (a przynajmniej szybszym).

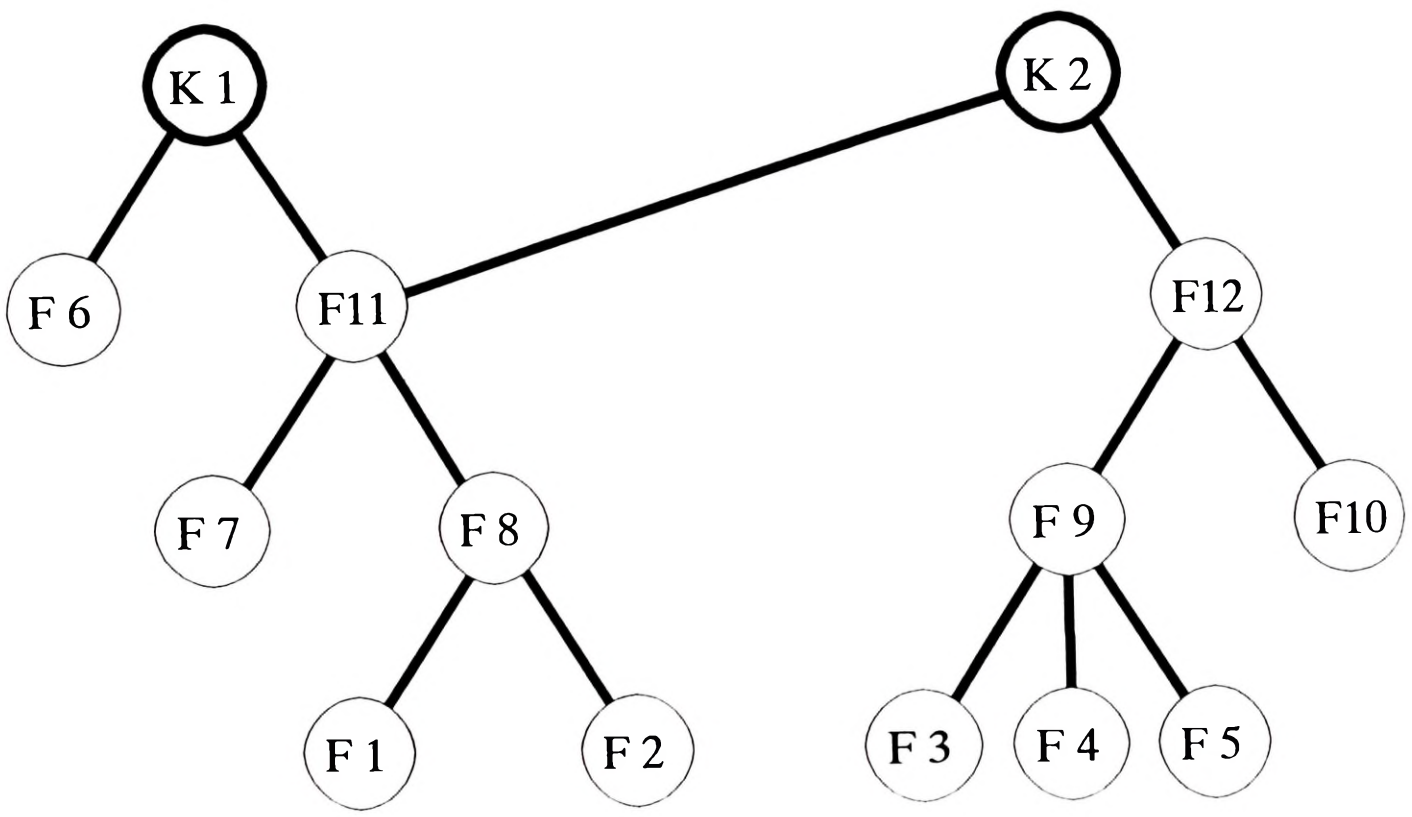
Ogólnie rzecz biorąc, poszukiwanie rozwiązania polega na przejściu od stanu początkowego (założeń, danych wyjściowych), przez stany pośrednie (etapy rozwiązania) do stanu końcowego (celu, wyniku)[1]. Poszukiwanie odbywa się w tak zwanej przestrzeni poszukiwań (ang. search space).

---

[1] Na przykład od cech odebranego sygnału radiowego, przez możliwe typy środków radiowych je wysyłające, do szczebla dowodzenia, który wykorzystuje dane typy radiostacji (gdy mamy do czynienia z systemem eksperckim do wspomagania lokalizacji punktów dowodzenia na podstawie przechwytywanych sygnałów radiowych).

5.1. Przestrzeń poszukiwań

Przestrzeń poszukiwań to zbiór wszystkich możliwych stanów, w jakich może znaleźć się proces rozwiązywania problemu. Do formalizacji przestrzeni poszukiwań korzysta się często z teorii grafów. Graf przedstawiający przestrzeń poszukiwań nazywa się grafem poszukiwań (ang. search graph). Węzły są stanami problemu, a łuki - procedurami przejścia (rysunek 5.1.).



Rys.5.1. Przykładowy graf poszukiwań

Przedstawiony graf poszukiwań odpowiada zbiorowi sześciu reguł umieszczonych w bazie wiedzy:

1. JEŻELI Fakt1 I Fakt2 TO Fakt8,

2. JEŻELI Fakt3 I Fakt4 I Fakt5 TO Fakt9,

3. JEŻELI Fakt7 I Fakt8 TO Fakt11,

4. JEŻELI Fakt9 I Fakt10 TO Fakt12,

5. JEŻELI Fakt11 I Fakt12 TO Konkluzja2,

6. JEŻELI Fakt6 I Fakt11 TO Konkluzja1.

Najogólniej rzecz biorąc, w systemach eksperckich wykorzystywane są dwie główne strategie poszukiwania rozwiązań:

- wnioskowanie wstępujące (ang. forward reasoning/chaining),

- wnioskowanie zstępujące (ang. backward reasoning/chaining).

Pierwsza koncepcja odpowiada naturalnemu podążaniu od przesłanek do konkluzji, wnioskowanie zstępujące ma dokładnie przeciwną ideę - mając konkluzję staramy się znaleźć przesłanki ją potwierdzające. Oczywiście, w realnych systemach eksperckich często powyższe strategie poszukiwania rozwiązań nie występują w czystej postaci - wnioskowanie odbywa się z wykorzystaniem obu sposobów.

5.2. Wnioskowanie wstępujące

Jak już wspomniano, wnioskowanie wstępujące odpowiada naturalnemu tokowi rozumowania człowieka. Podstawą do poszukiwania rozwiązań są przesłanki. Posuwając się zgodnie z łukami grafu poszukiwań, odnajdujemy konkluzję. Jest ona rozwiązaniem.

Biorąc za podstawę przykład pokazany na rysunku 5.1. i dysponując przesłankami (faktami) F1, F2, F3, F4, F5, F7, F10, możemy osiągnąć konkluzję (rozwiązanie) K2. Rozumowanie przebiega następująco:

- z faktów (przesłanek) F1 i F2 wynika fakt (pośrednia konkluzja) F8 - na podstawie reguły 1,

- z faktów (przesłanek) F3, F4 i F5 wynika fakt (pośrednia konkluzja) F9 - na podstawie reguły 2,

- z faktów F7 i F8 wynika fakt (pośrednia konkluzja) F11 - na podstawie reguły 3,

- z faktów F9 i F10 wynika fakt (pośrednia konkluzja) F12 - na podstawie reguły 4,

- z faktów F11 i F12 wynika końcowa konkluzja (wniosek) K2 - na podstawie reguły 5.

Zauważmy, że na przykład zamiast faktów (przesłanek) F3, F4 i F5 moglibyśmy dysponować faktem F9, a osiągnięta konkluzja byłaby taka sama (K2) - do jej uzyskania wystarczyłoby zastosować reguł 1, 3, 4 i 5.

5.3. Wnioskowanie zstępujące

Wnioskowanie zstępujące jest przeciwnością rozumowania wstępującego. Proces wnioskowania zaczyna się od konkluzji i jest prowadzony w kierunku znalezienia argumentów (przesłanek) potwierdzających tę konkluzję.

Rozpatrując przykład przedstawiony na rysunku 5.1., wychodząc od konkluzji K2, moglibyśmy ją uzasadnić znając fakty (przesłanki) F1, F2, F3, F4, F5, F7, F10. Rozumowanie byłoby następujące:

- do uzasadnienia konkluzji K2 niezbędne są fakty F11 i F12 (reguła 5),

- do uzasadnienia faktu F11 dysponujemy faktem (przesłanką) F7 i potrzebny jest fakt F8 (reguła 3),

- do uzasadnienia faktu F12 dysponujemy faktem (przesłanką) F10 i potrzebny jest fakt F9 (reguła 4),

- do uzasadnienia faktu F8 dysponujemy faktami (przesłankami) F1 i F2 (reguła 1),

- do uzasadnienia faktu F9 dysponujemy faktami (przesłankami) F3, F4 i F5 (reguła 2).

Łatwo zauważyć, że konkluzję K2 moglibyśmy uzasadnić dysponując na przykład zbiorem faktów F9, F10, F11 (w rozumowaniu byłyby wykorzystane reguły 4 i 5).

5.4. Inne strategie wnioskowania

Przedstawione powyżej podstawowe strategie wnioskowania mogą wytworzyć wrażenie, że poszukiwanie rozwiązań jest w gruncie rzeczy prostą czynnością. Niestety, rzeczywistość jest bardziej skomplikowana. Grafy poszukiwań bywają bardzo rozbudowane. Znalezienie w nich rozwiązań wymaga specjalnych sposobów postępowania (na przykład powracania, uwzględniania miar „dobroci" rozwiązania, „bliskości" od rozwiązania ostatecznego). Jest ich bardzo wiele - poniżej omówione są tylko niektóre z nich.

5.4.1. Uporządkowane i nieuporządkowane procedury poszukiwania rozwiązań

Poszukiwanie rozwiązań w grafie poszukiwań może być dokonywane zgodnie z różnymi metodami, które ze względu na sposób dochodzenia do rozwiązania możemy podzielić na:

- nieuporządkowane procedury poszukiwania (ang. unordered search procedures),
- uporządkowane procedury poszukiwania (ang. ordered search procedures).

Procedury nieuporządkowane mają na celu znalezienie jakiejś ścieżki (ang. some path) w grafie poszukiwań. Zastosowanie procedur uporządkowanych zapewnia nam znalezienie ścieżki optymalnej (ang. optimal path).

Wśród procedur nieuporządkowanych najpopularniejszymi są:

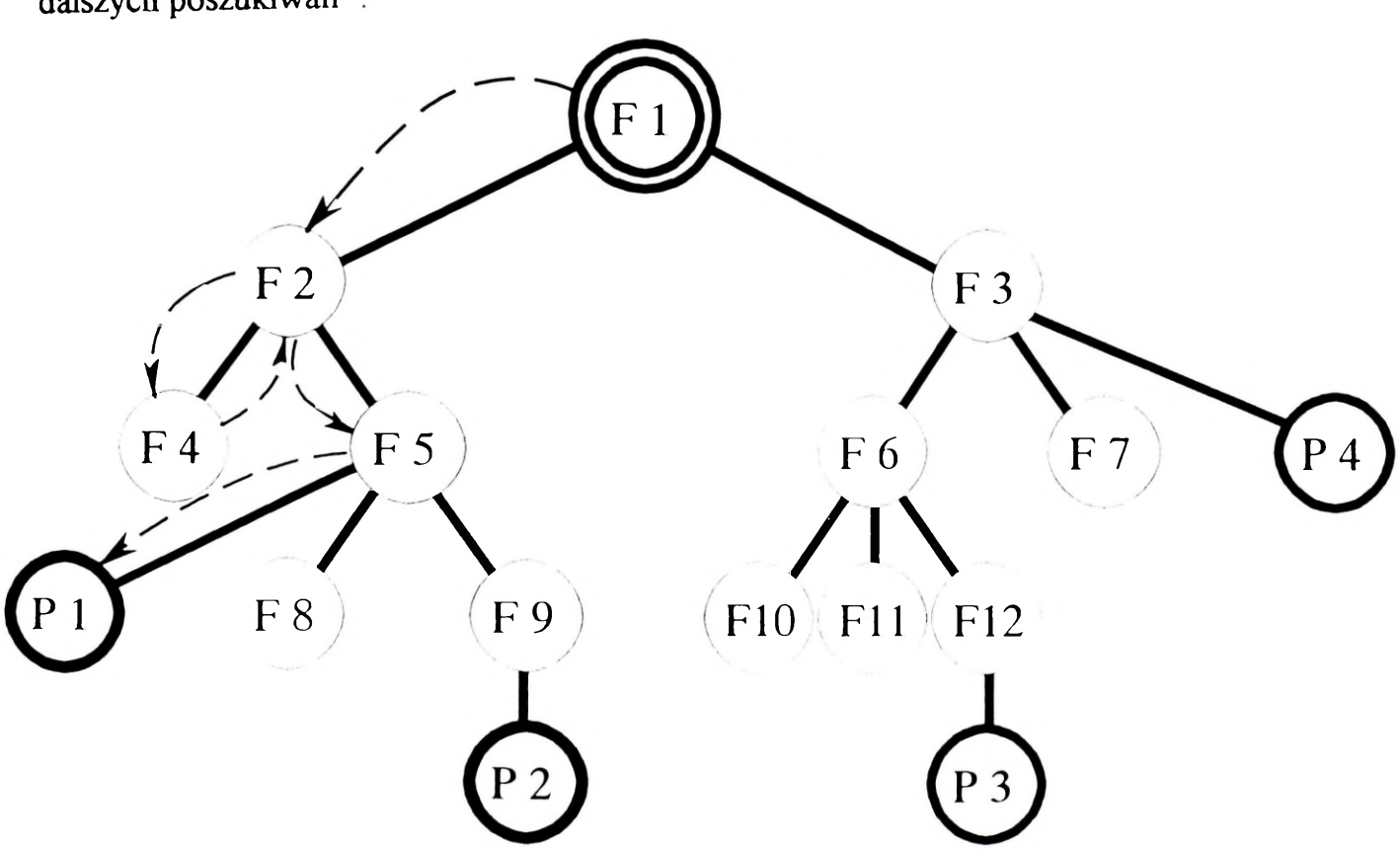
- najpierw w głąb (ang. depth first),

- najpierw wszerz (ang. breadth first),

- najpierw najlepszy (ang. best first),

- wiązka (ang. beam).

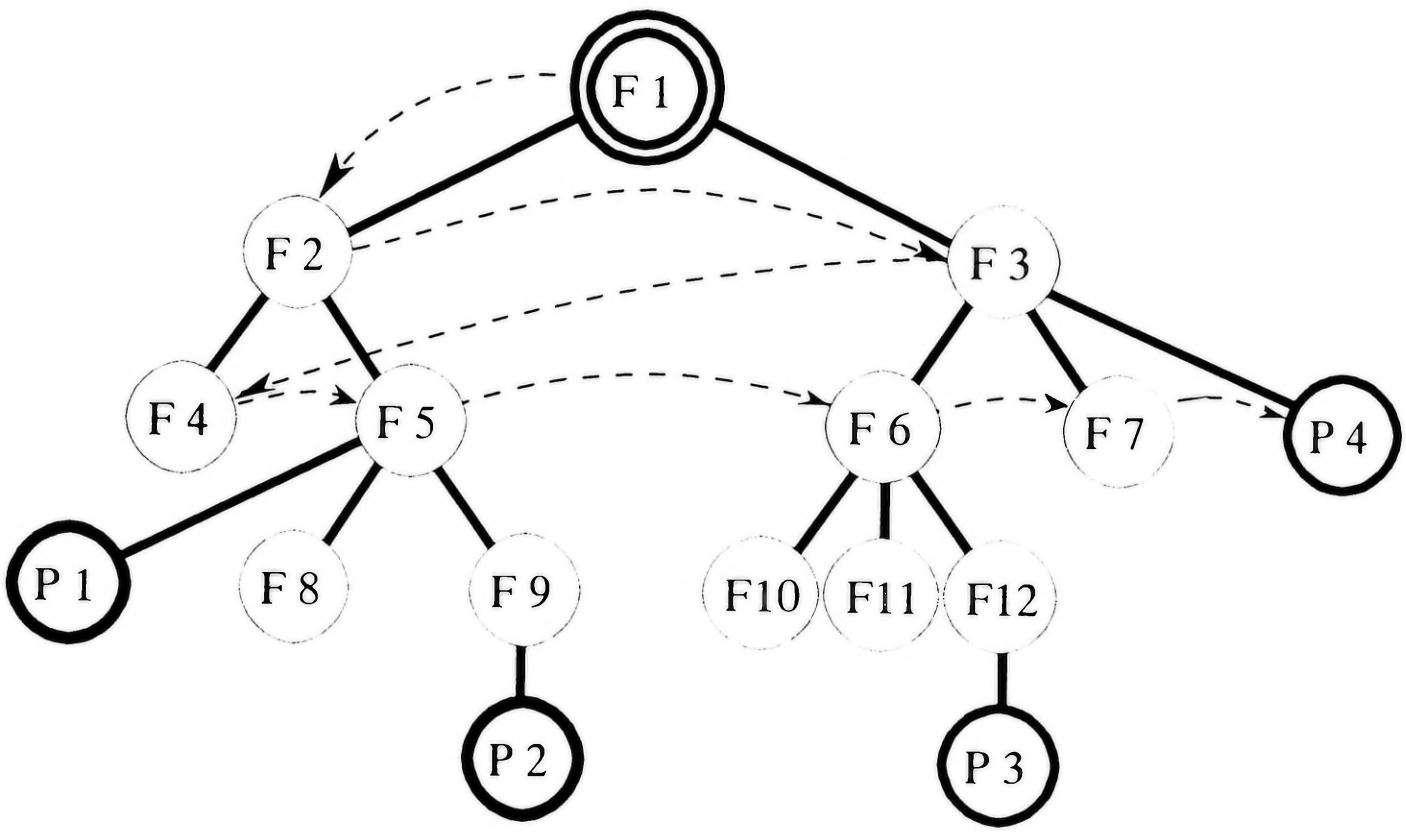
Ideą pierwszej procedury (najpierw w głąb) jest posuwanie się na coraz niższe poziomy w grafie poszukiwań (do kolejnych węzłów). Przykład poszukiwania rozwiązania tą metodą ilustruje rysunek 5.2. W momencie konieczności dokonania wyboru ścieżki przyjmuje się (nie mając żadnej miary jakości postępowania) dowolną zasadę wyboru (na przykład zawsze lewy lub zawsze prawy - na rysunku 5.2. zawsze lewy). Postępowanie kończy się, gdy osiągniemy rozwiązanie lub stwierdzimy, że ścieżka jest „ślepa" . Procedura „najpierw w głąb" daje dobre efekty wtedy, gdy „ślepe" ścieżki w grafie poszukiwań nie są zbyt głębokie. W takim przypadku unikamy czasochłonnych powrotów na wyższe poziomy w grafie w celu odnalezienia punktu startowego do dalszych poszukiwań[2)].



Rys.5.2. Ilustracja metody poszukiwania rozwiązań „najpierw w głąb"

[2)] Czasami do metody depth-first włącza się mechanizm ograniczający głębokość poszukiwania rozwiązań, by nie zagłębiać się za bardzo w „ślepe" ścieżki. Innym sposobem na kontrolę zagłębiania się w grafie poszukiwań jest poszukiwanie z powracaniem (ang. backtracking search), umożliwiająca „rozszerzanie" poszukiwań (patrz metoda breadth-first) w trakcie zagłębiania.

Procedura „najpierw wszerz" polega na przeglądaniu kolejnych poziomów w grafie poszukiwań. Przeglądanie odbywa się od najwyższego poziomu w kierunku coraz niższych. Proces kończy się w momencie znalezienia na którymś z poziomów rozwiązania (por. rysunek 5.3.). Procedura „najpierw wszerz" jest efektywna, gdy liczba odgałęzień (alternatyw) w punktach wyboru nie jest zbyt duża.



Rys.5.3. Ilustracja metody poszukiwania rozwiązań „najpierw wszerz"

Do zastosowania procedury „najpierw najlepszy" niezbędne jest posiadanie naturalnej miary odległości od rozwiązania (na przykład prawdopodobieństwo wykonania kolejnego etapu działań - start z lotniska, dolot do strefy OPL przeciwnika, pokonanie OPL przeciwnika, odnalezienie celu, wykonanie ataku, prawidłowa ocena wyników działania, powrót na lotnisko). Wykorzystując tę miarę podejmuje się decyzje o wyborze kierunku poszukiwań w punktach rozgałęzień. Metoda ta jest szczególnie efektywna, gdy w górnych poziomach grafu poszukiwań występują źle rokujące ścieżki.

Również w procedurze „wiązka" niezbędne jest określenie miary odległości od rozwiązania. Ideą tej metody jest wybór jedynie dwóch najlepiej rokujących odgałęzień w punktach wyboru. Ogranicza to znacznie liczbę rozpatrywanych ścieżek. Metoda ta nie jest skuteczna, gdy częściowe dobre ścieżki (od punktu początkowego do rozpatrywanego poziomu) nie są częściami ostatecznych ścieżek (taka ścieżka w sensie procedury „wiązka" jest „ślepa").

Za reprezentatywne dla uporządkowanych procedur poszukiwania należy uznać:

- Muzeum Brytyjskie (ang. British Museum),
- odgałęzień i ograniczeń (ang. branch and bound),
- programowanie dynamiczne (ang. dynamic programming).

Metoda „Muzeum Brytyjskie" polega na sortowaniu i przeglądaniu wszystkich możliwych ścieżek (prowadzi więc w istocie do pełnego przeglądu). Daje się więc zastosować tylko wtedy, gdy graf poszukiwań jest niewielki.

Procedura „odgałęzień i ograniczeń" opiera się na eliminowaniu ścieżek źle rokujących. Osiągnięcie jakiegoś rozwiązania nie kończy postępowania, gdyż z kolei brane są pod uwagę wszystkie wcześniej „otwarte" ścieżki. Procedura „branch and bound" jest efektywna w dużych grafach poszukiwań, gdy złe ścieżki szybko i wyraźnie wykazują brak perspektyw jeśli chodzi o uzyskanie optymalnego rozwiązania.

Omawianie procedury programowania dynamicznego jest zbyteczne. Znajduje się ona w wielu podręcznikach matematyki.

5.4.2. Wnioskowanie w warunkach niepewności i niepełności wiedzy

Ponieważ nie we wszystkich przypadkach wiedza jest pewna, wypada poświęcić parę słów wnioskowaniu w przypadku niepewności informacji. Ze względu na objętość

rozprawy i różnorodność problemów występujących w razie zetknięcia się z wiedzą niepewną, scharakteryzowane zostaną tylko ogólne założenia wnioskowania w takich sytuacjach (istnieje obszerna literatura tego zagadnienia, na przykład [6]).

Niepewność w procesie rozumowania (poszukiwania rozwiązań) może dotyczyć zarówno faktów jak i konkluzji. Najbardziej popularnymi narzędziami formalnymi używanymi w takich przypadkach są:

- teoria prawdopodobieństwa (ang. probability theory) - głównie prawo Bayesa,
- współczynniki pewności (ang. confidence factors),
- rozumowanie rozmyte (ang. fuzzy reasoning).

Teoria Bayesa jest powszechnie znana i nie wymaga omawiania. Prawdopodobieństwa Bayesowskie przypisywane są wszystkim hipotezom. Mogą one być modyfikowane na podstawie nowych faktów, pojawiających się w trakcie pracy systemu (dzięki temu nadaje się dobrze do opisywania zjawisk zachodzących dynamicznie na polu walki).

Inną koncepcją postępowania w warunkach niepewności jest wykorzystanie współczynników pewności. Współczynniki te mogą być stosowane w różnych wariantach, a ich wartości mogą być zmieniane w trakcie pracy systemu. Jednym ze sposobów użycia współczynników jest przypisywanie pewności faktom lub konkluzjom (wnioskom), na przykład:

- JEŻELI Fakt (CF=0,3) TO Konkluzja,
- JEŻELI Fakt TO Konkluzja (CF=0,8).

Podane wartości współczynników traktowane są jako wartości progowe. Ustalane są przez inżyniera wiedzy (w porozumieniu z ekspertem dziedzinowym). Są podstawą do aktywowania reguł (przy przekroczeniu przez nie progów). W konkretnym przypadku reguła może mieć postać:

- JEŻELI Zestrzelenie samolotu możliwe (CF=0,4) TO Zakaz startu.

Interpretacja tej zależności będzie następująca: uaktywnij zakaz startu samolotu, gdy wiarygodność jego zestrzelenia przekroczy poziom 0,4[3)].

Inny wariant zastosowania współczynników pewności dotyczy sytuacji, gdy reguły mają wiele przesłanek. Wtedy każda z nich ma oznaczony współczynnik, na przykład:

JEŻELI Fakt1 (CF=0,2) I Fakt2 (CF=0,4)

I Fakt3 (CF=0,8) I Fakt4 (CF=0,7)

TO Konkluzja.

W takim wypadku powstaje problem określenia współczynnika pewności dla konkluzji. Można przyjąć tu wiele różnych wariantów jego wyznaczenia, na przykład:

- wartość średnia z CF dla przesłanek (w przykładzie 0,525),
- minimum z CF dla przesłanek (w przykładzie 0,2),
- maksimum z CF dla przesłanek (w przykładzie 0,8).

Konkretnym przykładem reguły o wielu przesłankach jest:

JEŻELI Pogoda sprzyjająca (CF=0,8) I

Rozpoznanie przeciwnika wystarczające (CF=0,6) I

Dysponujemy przewagą na odcinku przełamania (CF=0,9)

TO Podejmij decyzję o natarciu.

Rozumowanie rozmyte to trzeci ze sposobów wnioskowania w warunkach niepewności. Jego podstawą jest koncepcja zbiorów rozmytych wprowadzona przez

---

[3)] Trzeba tu wyraźnie stwierdzić, że współczynniki wiarygodności nie muszą mieć interpretacji prawdopodobieństwa (choć często są normalizowane do przedziału <0, 1>). Mogą one wyrażać zagregowane przekonanie ekspertów o jakimś fakcie czy konkluzji i zmieniać się w trakcie eksploatacji systemu eksperckiego.

L.A.Zadeha. Istotą tej koncepcji jest zastąpienie klasycznej dwuwartościowej funkcji f przynależności obiektu x do zbioru A:

$$f(x) = 1, \text{ gdy } x \in A,$$

$$f(x) = 0, \text{ gdy } x \notin A,$$

„rozmytą" funkcją:

$$f: A \rightarrow \langle 0, 1 \rangle.$$

Stąd w werbalnym opisie przynależności pojawiają się przykładowo pojęcia „prawie", „dość", „trochę". Odpowiada to otaczającej nas rzeczywistości, gdyż w praktyce często określenia nie są „ostre", a informacje nie są jednoznaczne.

Przykładowo, spróbujmy określić rozmyte funkcje wzrostu człowieka. Pojęcia „niski" i „wysoki" nie są precyzyjne, nadają się więc do „rozmytej" interpretacji. Jeżeli określeniu „x jest niski" przypiszemy funkcję:

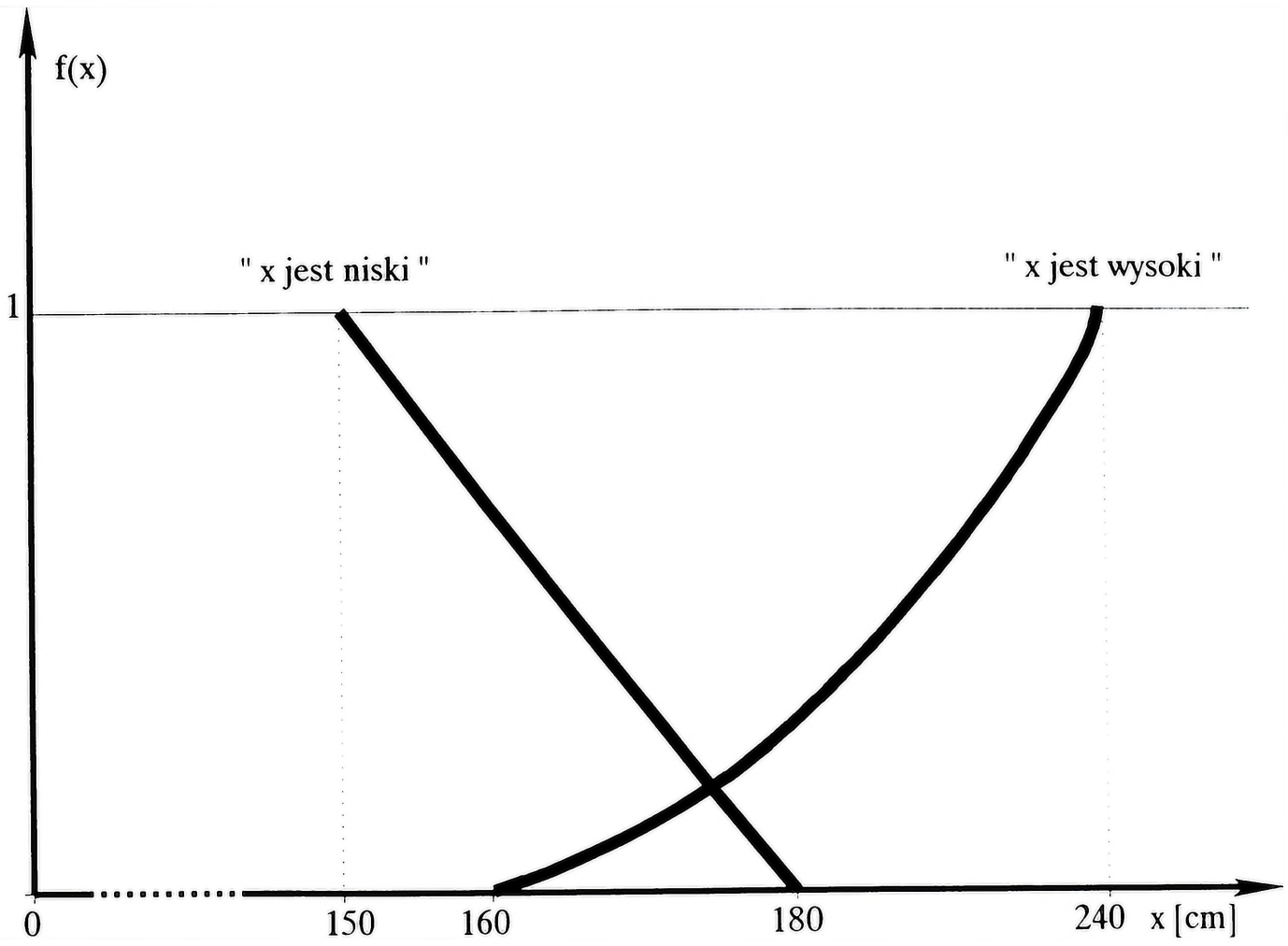
$$f_1(x) = -1/30*x + 6,$$

a określeniu „x jest wysoki" funkcję:

$$f_2(x) = 1/256000*x^2 - 1/6400*x + 3/200,$$

to otrzymamy obraz naszych preferencji co do werbalnego określenia wzrostu człowieka przedstawiony na rysunku 5.4.

Z rysunku wynika, że o człowieku mającym wzrost 150 cm na pewno powiemy „niski". Człowiek o wzroście 240 cm jest na pewno „wysoki". Występuje natomiast pewien zakres wzrostu (w przykładzie 160-180 cm), gdzie nasza decyzja co do określenia werbalnego „niski" lub „wysoki" nie jest jednoznaczna (być może zależna od okoliczności).



Rys.5.4. Przykład „rozmytej" interpretacji pojęć „wysoki człowiek" i „niski człowiek"

Obok wiedzy niepewnej, często spotykamy się z wiedzą niepełną. Może ona sprawiać wiele trudności przy jej przetwarzaniu. Do operowania wiedzą niepełną opracowane zostały metody symboliczne. Istnieje dość subtelna różnica pomiędzy wiedzą niepewną a niepełną. Otóż dla informacji niepewnej ustala się współczynniki określające stopień pewności danego stwierdzenia, dla wiedzy niepełnej rozpatrywane jest ogólniejsze zagadnienie, czy dany wniosek jest słuszny czy nie.

Dobry przykład informacji pełnej i niepełnej można znaleźć w [6]: lista losów wygrywający i książka telefoniczna. Jeżeli po zakupie losu na loterii ustalimy, że posiadany numer nie figuruje na liście losów, to oznacza to przegraną. W przypadku książki telefonicznej brak nazwiska poszukiwanej osoby nie świadczy o tym, że nie posiada ona telefonu - może mieć numer zastrzeżony lub książka telefoniczna może być nieaktualna.

Jedną z propozycji przetwarzania wiedzy niepełnej jest tak zwana reprezentacja logiczna. Umożliwia ona reprezentowanie informacji niepełnych poprzez stwierdzenia:

- coś ma pewną właściwość, bez wskazywania tej rzeczy: $(\exists x)(P(x))$;
- wszystkie elementy danej klasy mają pewną właściwość, bez wyliczania elementów tej klasy: $(Vx)(P(x) \Rightarrow Q(x))$;
- przynajmniej jedno z dwóch stwierdzeń jest prawdziwe, bez rozstrzygania które: $P \vee Q$;
- pewne twierdzenie jest fałszywe: $\sim P$.

Ostatni punkt stanowi zapis założenia o domkniętości świata, które jest spełnione w przypadku listy losów wygrywających, ponieważ jeżeli los nie jest wygrywający, to na pewno jest przegrywający. Nie można natomiast powiedzieć, że założenie domkniętości jest spełnione w przypadku książki telefonicznej.

6. PRZYKŁADY WOJSKOWYCH SYSTEMÓW EKSPERCKICH

Poczesne miejsce w badaniach nad rozwojem techniki wojskowej zajmują problemy sztucznej inteligencji. Zakres tych badań jest bardzo szeroki. Największy postęp (ze względu na relatywną łatwość konstrukcji i stosunkowo niskie nakłady) uzyskano w dziedzinie systemów eksperckich (ang. expert systems) i systemów wiedzy (ang. knowledge-based systems). Prace konstrukcyjne mają jednak znacznie szerszy zakres i koncentrują się również wokół modelowania zmysłów. Dotyczy to zwłaszcza wzroku (rozpoznawanie i analiza obrazów) i słuchu (rozumienie mowy). Problemy grafiki komputerowej i syntezy mowy są już w zasadzie zadowalająco rozwiązywane w obecnym stanie techniki komputerowej.

Systemy sztucznej inteligencji (w tym szczególnie systemy eksperckie) stają się coraz częściej istotnymi elementami systemów C^3I (Command, Control, Communication and Intelligence). W systemach tych wykorzystywane są zintegrowane stanowiska pracy wyposażone w dyski laserowe czy optyczne czytniki pisma. Wynikiem badań w zakresie sztucznej inteligencji jest tu możliwość komunikacji z komputerem za pomocą głosu, a nie klawiatury i ekranu. Standardowymi urządzeniami na takim stanowisku są: kamera, odtwarzacz video, kamera cyfrowa, urządzenie zobrazowania wielkoformatowego oraz drukarka/skaner/kopiarka/fax. Stanowiska takie są sprzężone z systemami kosmicznymi (głównie łączności i rozpoznawczymi). W takie stanowiska pracy mogą być wyposażane (w odpowiedniej konfiguracji) nie tylko centra dowodzenia (stacjonarne i ruchome - na pojazdach lądowych, samolotach i okrętach, a w przyszłości może i załogowych stacjach kosmicznych), ale również niższe szczeble, działające w terenie - nawet drużyna czy pojedynczy żołnierz. Możliwości takie są efektem szybkiego postępu w dziedzinie

mikroelektroniki - miniaturyzacji i zwiększenia mocy obliczeniowych (w ostatnich kilku latach przyspieszenie obliczeń z 2 mln do 12 mln operacji na sekundę). Osiągnięto również istotny postęp w dziedzinie systemów o przetwarzaniu równoległym (rozproszonym).

Coraz większy udział w zaspokajaniu potrzeb militarnych mają systemy inteligentne. Ich wykorzystanie w układach C^3I umożliwiło nie tylko ułatwienie pracy z nimi (sprzężenie głosowe), ale przede wszystkim wyręczenie człowieka przez układy inteligentne (expert systems, knowledge-based systems) w zakresie podejmowania decyzji. Dowodem ich przydatności jest ostatni konflikt w Zatoce Perskiej, gdzie po raz pierwszy wykorzystywano je z powodzeniem na polu walki (systemy eksperckie są na przykład w wyposażeniu XVIII Korpusu Powietrznego USA).

Oczywiście nowa technika stawia nowe wymagania nie tylko w dziedzinie sprzętu i oprogramowania, ale szczególnie dostępu do źródeł informacji. Takimi źródłami są obecnie bardzo często systemy satelitarne. Brak szerszego dostępu do nich naszej armii stanowi istotne ograniczenie możliwości konstrukcyjnych.

Dużym rozmachem wyróżniają się prace w dziedzinie tworzenia inteligentnych systemów dowodzenia wojskami i kierowania uzbrojeniem. Systemy eksperckie są prawie zawsze projektowane w celu rozwiązywania problemów z pojedynczej dyscypliny, lokalnego obszaru lub regionu wiedzy. Mówi się wtedy o dziedzinie (domenie) systemu eksperckiego[1)]. Wszystkie systemy eksperckie, które dostarczają użytecznych ekspertyz funkcjonują na ogół obecnie w bardzo wąskiej dziedzinie. Granice tej dziedziny musza być bardzo starannie zdefiniowane na etapie jego projektowania.

Znaczenie systemów eksperckich jako narzędzi człowieka-eksperta wzrasta. Mogą one okazać się produktami do użycia przez nie-ekspertów w wielu dziedzinach,

---

[1)] Są to tak zwane dedykowane systemy eksperckie.

gdyż koszt dostępu do ekspertów-ludzi ciągle rośnie. Systemy eksperckie mogą być używane w zastosowaniach wymagających diagnozowania, przewidywania, konsultowania, kierowania, planowania, szkolenia i objaśniania.

W siłach zbrojnych systemy eksperckie mogą znaleźć zastosowanie, między innymi, do:

1. wspomagania planowania działań bojowych,
2. szkolenia obsad stanowisk dowodzenia i obsług środków walki,
3. wspomagania oceny sytuacji na polu walki,
4. wspomagania tworzenia map z uwzględnieniem racjonalnego rozmieszczenia obiektów,
5. wspomagania identyfikacji i klasyfikacji celów naziemnych, powietrznych i morskich na podstawie zdjęć lotniczych i satelitarnych,
6. analizy danych rozpoznawczych dotyczących stanowisk dowodzenia i węzłów łączności przeciwnika,
7. wspomagania prowadzenia gier wojennych,
8. rozpoznawania statków powietrznych na podstawie obserwacji wizualnych,
9. wspomagania planowania niszczenia obiektów na lotniskach przeciwnika,
10. prognozowania powstawania i przebiegu konfliktów zbrojnych,
11. modelowania działania środków napadu powietrznego,
12. wspomagania rozpoznawania środków radiowych i radiolokacyjnych przeciwnika.

Ponieważ nie jest możliwe wymienienie wszystkich potencjalnych zastosowań systemów eksperckich, można zaproponować inną ich klasyfikację - na podstawie rodzaju sił zbrojnych, w którym są wykorzystywane lub dla którego są projektowane. Oczywiście niektóre szczegółowe rozwiązania mogą być podobne w systemach eksperckich przewidzianych dla różnych rodzajów sił zbrojnych (na przykład urządzenia

sprzężenia głosowego). Istnieją także takie systemy eksperckie, które są wykorzystywane przez różne rodzaje sił zbrojnych (na przykład wspomagające kreślenie map).

6.1. Systemy eksperckie wojsk lądowych

W dziedzinie systemów dowodzenia pracuje wiele instytucji. Na przykład firma General Electric Comp. tworzy system ekspercki do wspomagania dowodzenia wojskami w działaniach powietrzno-lądowych. Aparatura ta jest budowana dla stanowisk dowodzenia związków taktycznych. Charakterystyczne są w tym systemie trzy metody oceny sytuacji i formułowania wniosków do decyzji, a mianowicie: analiza różnych hipotez z eliminowaniem nieprawdziwych przypuszczeń; „zdrowy rozsądek" i rozmyta logika z pojęciami typu „mniej więcej", „prawie", „według wszelkiego prawdopodobieństwa"; analogia, polegająca na porównywaniu sytuacji przeszłej z bieżącą i wykrywaniu zmian. W opracowywanym systemie ma być stosowane modelowanie analogowe z wizualnym przedstawianiem ugrupowań związków taktycznych sił lądowych, powietrznych i morskich w prognozowanej sytuacji bojowej, a przebieg i wyniki modelowania będą porównywane przez system ekspercki dysponujący informacjami z bazy wiedzy.

Do prowadzenia gier wojennych (symulowania działań lądowych dwóch przeciwstawnych stron) został przez Rand Corp. przygotowany system ekspercki TWIRL (Tactical Warfare In the Ross Language). Służy on do weryfikacji różnych wariantów działań wojsk lądowych (zarówno w natarciu, jak i w obronie). Baza wiedzy systemu zawiera propozycje rozwiązań wybranych fragmentów działań. Propozycje te mogą być wykorzystywane przez ćwiczących.

Firma Martin Marietta Corp. i inne opracowują systemy automatyzujące i, co ważne, przyspieszające przebieg oceny sytuacji bojowej. W wyniku oceny sytuacji powstawać będą różne warianty prowadzenia działań bojowych, ze wskazaniem rekomendowanych do stosowania. Dowódca ma wskazywać te, które akceptuje i w ten sposób decydować o działaniach.

Autonomus Land Vehicle (ALV) to eksperymentalny pojazd mający zdolność do samodzielnego (bez sterowania przez człowieka) poruszania się w różnych warunkach terenowych. Powstał w firmie Martin-Marietta Corporation[2]. Jest ważnym etapem na drodze do skonstruowania w pełni autonomicznych pojazdów posiadających zdolność do nawigowania w urozmaiconym terenie. Do uzyskania takiego efektu niezbędne było skonstruowanie odpowiednich, wbudowanych systemów eksperckich. ALV jest przykładem realizacji wojskowych pojazdów bezzałogowych - pokazem rozwoju koncepcji i algorytmów planowania. Algorytmy te umożliwiają ALV funkcjonowanie z prędkością do 20 km/h w czasie omijania prostych przeszkód, pokonywania zakrętów i skrzyżowań dróg oraz przekraczania stosunkowo prostego terenu na przełaj. ALV łączy w sobie system wizyjny, sensory oraz system nawigacji i sterowania. Ma moc obliczeniową niezbędną do działania pojazdu. Mieści się w granicach możliwych do przyjęcia rozmiarów i masy. W dodatku właściwości te zostały połączone z wysokimi zdolnościami planistycznymi, co umożliwi mu efektywne interpretowanie dostrzeganego otoczenia i modyfikowanie kursu z uwzględnieniem niemożliwych do przebycia przeszkód i omijanych obiektów[3].

Systemy eksperckie tworzone są nawet dla ściśle określonych wzorów uzbrojenia. Przykładem może być system ekspercki obsługi i remontu stanowiska 127

---

[2] Pierwowzorem był pojazd NAVLAB powstały w Carnagie-Mellon University na zamówienie DARPA.

[3] Doświadczenia z prac nad ALV wykorzystywane są także w dziedzinach niemilitarnych - na przykład przy konstruowaniu na zapotrzebowanie NASA pojazdów przeznaczonych do poruszania się w trakcie wypraw na inne ciała niebieskie.

mm działa morskiego Mk 45. Piętnaście mechanizmów tego sprzętu składa się z 23 tysięcy detali. Niesprawności stanowiska określane są w systemie dialogowym. Informacje dotyczące kontroli wyposażenia elektrycznego mogą być wprowadzane do systemu eksperckiego bezpośrednio z aparatury samokontrolującej usytuowanej na stanowisku działa. Dane o układach hydraulicznych i mechanicznych uzyskiwane są przez dialog obsługi działa z systemem eksperckim, a pytania i odpowiedzi zobrazowywane są na monitorze. Zastosowanie systemu eksperckiego obniżyło podobno o 18% konieczny nakład pracy na obsługę techniczną i remonty działa.

6.2. Systemy eksperckie sił powietrznych

Systemem wspomagającym dowodzenie siłami powietrznymi jest system ekspercki Templer, który ma służyć do planowania działań. Ma on wspomagać planowanie zadań dla 1000 samolotów. Wdrożenie systemu do użytku powinno skrócić czas planowania i formułowania zadań dla dużej liczby samolotów z około 24 do 2 godzin. Podstawowym zadaniem systemu jest planowanie działań sił powietrznych zwalczających systemy obrony powietrznej przeciwnika. Inne funkcje dotyczą bezpośredniego wsparcia lotniczego, izolacji rejonu działań bojowych, działań w systemie obrony powietrznej oraz prowadzenia walki radioelektronicznej. Wymianę informacji zapewniają programy sprzęgające w języku naturalnym (interfejs komunikacji z użytkownikiem), a sytuacja i wyniki planowania przedstawiane są graficznie i w formie wydruków. Docelowo zadania będą przesyłane na pokłady samolotów drogą radiową.

Pilot Associate (PA) to wielki program konstrukcji robota lotniczego z wbudowanymi systemami eksperckimi. Projektowany jest przez dwie grupy wykonawców kierowane przez Lockheed Aircraft Corp. i Mc Donnell Douglas Corp.

dla DARPA. Wbudowane systemy eksperckie wyposażone są w specyficzny interfejs komunikacji z użytkownikiem (pilotem) za pomocą głosu (VIS - Voice Interactive System, Głosowy System Sprzężenia). Przykład PA wskazuje na wykonalność dostarczania dodatkowych ekspertyz załodze samolotu. Celem długofalowym tego programu jest wykorzystanie pulpitu pilota do zarządzania systemem obliczeniowym manipulującym pełnym przepływem informacji i danych, i efektywnie przetwarzającym je w celu interpretacji przez pilota. Jeżeli nawet system nie spełnia już obecnie wszystkich wymagań, to jest wielkim postępem jakościowym w zakresie skutecznego sterowania (również za pomocą głosu) systemami uzbrojenia.

Wszystkie te systemy wymagają tak szczegółowej jak i ogólnej wiedzy. Krytycznym dla użyteczności tych systemów jest łącze pilot-pojazd, odpowiednio ustalone, umożliwiające pilotowi zarządzanie reprezentacją informacji, ustalaniem priorytetów i - jeżeli przejmie to on na siebie - działaniem poza standardowym postępowaniem systemu. Głównym sposobem współpracy jest wykorzystanie łącza głosowego. Mimo, że wcześniej tego nie przewidywano, to uzyskane wyniki sprawiły, iż robot lotniczy (PA) ma stać się integralną częścią programu budowy zaawansowanego myśliwca taktycznego.

Robot lotniczy nie jest uważany za alternatywę załogi. Owszem, ma on być inteligentny, ale nie eliminuje załogi. Ma ją jedynie wspomagać. Przewiduje się wykorzystanie doświadczeń z jego budowy w podobnych urządzeniach dla potrzeb przyszłych śmigłowców, a nawet czołgów i innych pojazdów lądowych. Robot lotniczy składa się z czterech współpracujących ze sobą systemów eksperckich: sterowania systemami pokładowymi; oceny sytuacji bojowej; planowania taktycznego; programowania lotu, w tym wykonania zadań bojowych.

System sterowania systemami pokładowymi zapewnia zautomatyzowane wykonywanie woli załogi zlecanej różnym podsystemom samolotu, a ponadto

informowanie załogi o sytuacji, w tym o otoczeniu samolotu i jego funkcjonowaniu. Układ ten zapewnia sprzężenie zwrotne załogi z samolotem, pomaga i wyręcza załogę, czuwa nad skutecznym działaniem samolotu. Z racji przeznaczenia, układ jest sprzężony z pozostałymi elementami samolotu, kontroluje funkcjonowanie podsystemów samolotu, wykrywa usterki płatowca, silników i wszelkich instalacji oraz formułuje diagnozy. O stwierdzanych odchyleniach, także prognozowanych, informuje załogę i podejmuje samoczynnie działania usuwające niepożądane zjawiska.

System oceny sytuacji bojowej gromadzi informacje i przetwarza je na użytek pozostałych układów. Jest sprzężony z pokładowymi oraz zewnętrznymi źródłami informacji o sytuacji powietrznej i naziemnej. Źródła pokładowe to stacje radiolokacyjne, laserowe, termolokatory, kamery telewizyjne i fotograficzne oraz czujniki opromieniowania samolotu przez przeciwnika. Do najważniejszych źródeł zewnętrznych zalicza się własne stanowiska dowodzenia naziemnego i powietrznego, środki rozpoznania naziemnego, morskiego, powietrznego i kosmicznego. Zadaniem układu jest wyodrębnianie z ogółu informacji tych, które dotyczą samolotu i powinny być uwzględniane w planowaniu lotu.

System jest zdolny do wypracowywania wariantów racjonalnego działania w danej sytuacji. Propozycje taktyczne, przedstawiane załodze za pośrednictwem układu współpracy, są akceptowane i wdrażane do wykonania przez układ programowania zadań. Można powiedzieć, że układ planowania taktycznego przewidziano do wyręczania załogi w wypracowywaniu decyzji, w której uwzględnia się istotne uwarunkowania i wybiera działania najskuteczniejsze.

System ostatni, programowania zadań bojowych, służy do przygotowywania realizacji decyzji taktycznych. Programowanie polega na wyborze trasy i warunków lotu, sposobów pokonania przeciwdziałania przeciwnika, sposobów atakowania celów i użycia systemów uzbrojenia oraz warunków powrotu w rejon lotniska i lądowania.

Twórcy robota lotniczego dążą do pozyskania programów efektywnego wyboru celów na podstawie ograniczonych informacji z pokładowych lub zewnętrznych źródeł informacji; wyboru optymalnego manewru w walce powietrznej lub podczas atakowania celów naziemnych; wyszukiwania trasy lotu zapewniającej uniknięcie przeciwdziałania lub zminimalizowanie skutków przeciwdziałania przeciwnika; automatycznego pilotowania samolotu z zachowaniem warunków, które akceptuje załoga.

Integralną częścią robota lotniczego jest system sprzężenia głosowego - Voice Interactive System (VIS), zaprojektowany przez Texas Instruments. Stanowi wykorzystanie wyników prac nad technologią rozpoznawania mowy. VIS to podsystem zintegrowany z awioniką samolotu. Prezentuje skuteczne wykorzystanie mowy we współpracy ulepszonych systemów człowiek-broń, nawet w warunkach hałasu i stresowych sytuacjach operacyjnych. Na przykład w testach symulacyjnych samolotu F-16 z silnikiem odrzutowym i w warunkach użycia aparatu tlenowego wykazał średnią rozpoznawania słów ze specjalnego słownika 121 słów równą 98,41%. W łącznym teście rozpoznawania zdań uzyskano wyniki od 86,3% do 97,6% (również w zakrętach z przeciążeniami do 7 g). VIS nie tylko realizuje funkcję rozpoznawania mowy, ale umożliwia ustawianie przełączników i naciskanie przycisków, które to czynności wymagane są od pilota bojowego.

Ciekawym przykładem eksperckiego systemu logistycznego dla potrzeb sił powietrznych jest Automated Air Load Planning System (AALPS, Zautomatyzowany System Planowania Załadunku Powietrznego). Został zbudowany przez SRI International. Służy do analizy problemu przydziału różnych typów sprzętu militarnego do załadowania na pokład różnych samolotów wojskowych (z uwzględnieniem ich typu i liczby). System ten zawiera około 300 reguł i około 4 megabajtów informacji deklaratywnych o samolotach (np. C-130, C-141, C-5), metodach ładowania samolotu (np. strategiczna operacja lotnicza, taktyczna operacja lotnicza, tankowanie powietrzne,

zrzut z niskich wysokości) i ograniczeniach w ładowaniu (np. utrzymywanie środka ciężkości samolotu podczas załadunku i rozładunku, zależności wewnątrzładunkowe, wymagania wobec pozycji niebezpiecznych, wymiary wewnętrzne oraz możliwości przewozu pasażerów). Jest on rutynowo wykorzystywany w ćwiczeniach XVIII Korpusu Powietrznego. Był z powodzeniem użyty w czasie transportu XVIII Korpusu na Granadę. Skraca pracę specjalistów od spraw załadunku podczas planowania w nieprzewidzianych wypadkach z 18 godzin do 5,5, a czas zmiany planów z 26 do 8 godzin. System ma być zaadaptowany do planowania i wykonania ładowania pojedynczego samolotu.

Do wspomagania rozpoznawania obiektów powietrznych służy system ekspercki Eagle[4)]. Bazą sprzętową jest w tym przypadku system mikroprocesorowy OSM-VAX, wspomagany przez 16 specjalizowanych układów zbierania informacji. Źródłami informacji są: radar (samolotowy lub okrętowy), naziemne stacje radiolokacyjne lub ewentualnie rozpoznanie satelitarne. Na podstawie napływających informacji, ustalane jest w systemie ponad dwieście cech rozpoznawanego obiektu powietrznego (każda z cech charakteryzowana jest współczynnikiem pewności). Na podstawie cech charakterystycznych może być identyfikowanych około 500 typów statków powietrznych (samoloty wojskowe, śmigłowce, samoloty cywilne, a nawet rakiety balistyczne). Jednocześnie mogą być przez system opracowywane informacje o około trzystu obiektach powietrznych.

Informacje o obiektach udostępniane są ośmioma niezależnymi kanałami. Oprócz rozpoznawania obiektów powietrznych, system udostępnia informacje niezbędne do naprowadzania rakiet powietrze-powietrze, woda-powietrze i ziemia-powietrze. System może być wykorzystywany jako stacjonarny (naziemny) lub montowany na pokładach

---

[4)] Jest to system przewidziany nie tylko dla sił powietrznych. Mogą go wykorzystywać wojska lądowe i marynarka wojenna.

okrętów lub samolotów bojowych. W tym ostatnim przypadku wyposażony jest w układy antyprzeciążeniowe.

System ekspercki Eagle dysponuje bazą wiedzy rzędu 3000 reguł (wiedza deklaratywna może obejmować 16 MB). Baza wiedzy jest uzupełniana okresowo, w ramach konserwacji systemu (brak więc w nim mechanizmów automatycznego bądź półautomatycznego pozyskiwania wiedzy). Maszyna wnioskująca pracuje z wykorzystaniem zmodyfikowanego wnioskowania wstępującego.

W Akademii Sił Powietrznych Stanów Zjednoczonych stworzono system ekspercki wspomagający zabezpieczenie lotniskowe - CRISIS (Combat Readines Infrastructure Support Information System). Podstawowym przeznaczeniem systemu jest wspomaganie projektowania budowy lub odbudowy lotnisk. Co ciekawe, działanie systemu może odbywać się na podstawie satelitarnych map terenu - nie wymaga więc prowadzenia pomiarów bezpośrednio w terenie, a więc może być wykorzystywany do przygotowania baz lotniczych na terytorium przeciwnika (w miejscach wcześniej zaplanowanych lub na bazie zniszczonych wcześniej lotnisk nieprzyjaciela).

System CRISIS może służyć również do szkolenia kadry dowódczej baz lotniczych, zarówno w warunkach pokojowych, jak i na wypadek wojny. Dla czasu pokoju przewidziana jest opcja usprawniania infrastruktury bazy, w celu racjonalizacji jej codziennego działania. Dla potrzeb działań wojennych kadra dowódcza może doskonalić się w rozmieszczaniu sprzętu i zapasów oraz przygotowaniu obrony przeciwlotniczej. System weryfikuje przyjęte rozwiązania, symulując atak przeciwnika oraz wskazując błędy popełnione przez ćwiczących.

Inventory Manager's Assistant (IMA) to logistyczny system ekspercki wykorzystywany przez USAF Logistic Command (AFLC). IMA jest zaprojektowany do wspomagania określania wymaganych poziomów zapasów odzyskiwalnych części

zamiennych[5]. IMA czyni to pomagając specjalistom od zapasów określić dziesięć danych: cenę jednostkowa, datę ostatniego dostarczenia, administracyjny czas realizacji, produkcyjny czas realizacji, czas podstawowego cyklu naprawy, podstawowy czas produkcyjny, czas międzynaprawczy, czas dostarczenia do konserwacji, czas dostarczenia do warsztatu i czas usprawniania. Prototyp IMA został zaprojektowany w roku 1986. Powstał na podstawie wywiadów z siedmioma ekspertami z zakresu zarządzania zapasami pracującymi w Sacramento Air Logistic Center (SM-ALC). Wywiady te umożliwiły stworzenie początkowej bazy wiedzy. Testy prototypu w SM-ALC i w Ogden Air Logistic Center wykazały, że IMA jest dokładny, efektywny i zgodny z oczekiwaniami specjalistów od zapasów. W czasie jednego z tych testów, który był prowadzony na decyzjach dotyczących zapasów, wybranych spośród rutynowych, sformalizowanych decyzji, IMA ujawnił błąd na kwotę 600000 $ w jednej z tych sformalizowanych decyzji. Szacunek poprawy efektywności w dziedzinie podejmowania decyzji przez specjalistów od zapasów przy użyciu IMA uzyskany na podstawie wczesnych testów, wymienia poziom od 15% do 18% . IMA pomaga także AFLC łagodzić skutki zmiany personelu i powstałego w związku z tym braku doświadczenia. Wartość IMA wynika z pożytku z systemu eksperckiego wyrażającego się w podnoszeniu poziomu ekspertyz od poziomu nowicjusza w tym zakresie do poziomu w przybliżeniu najwyższego w rozkazodawstwie.

Wiele prac w dziedzinie systemów eksperckich ma na celu zbudowanie układów do diagnostyki różnego rodzaju sprzętu. Pierwsze prace miały na celu stworzenie ogólnego modelu diagnostycznego. Został on stworzony na bazie samolotu F-15. Stosowanie modelu polega na sporządzeniu szczegółowej instrukcji kontroli poszczególnych zespołów systemu sterowania samolotem, zawierającej podstawowe schematy instalacji pokładowej, plansze z prawdopodobnymi przyczynami awarii,

---

[5] Ich wartość ocenia się na 42 miliardy dolarów.

miejscami ich powstawania i wideozapisami z poglądową metodyką ich demontażu i wymiany lub remontu. Układy inteligentne w systemach diagnostycznych mają samoczynnie lokalizować uszkodzenia, analizować częstotliwość powstawania defektów i podawać zalecenia o sposobach ich usuwania. Przewidziano ponad 160 możliwych diagnoz awarii i niesprawności, z których tylko niewielką część dotychczas sformalizowano i wprowadzono do bazy wiedzy systemu kierowania samolotem F-15, mającego dwa komputery z oprogramowaniem w języku Lisp. Równolegle opracowywany jest autonomiczny system ekspercki przystosowywany do diagnozowania samolotu F-16.

B-1B Central Integrated Test System (CITS) Expert Parameter System (CEPS)[6] jest prototypem systemu eksperckiego zaprojektowanego do diagnostyki remontowej strategicznego bombowca B-1B. Ułatwia technikom interpretowanie zapisów pokładowych dokonywanych podczas każdego lotu w celu zaprowadzenia porządku, konserwacji i prac profilaktycznych. System CITS notuje 19000 parametrów, które zawierają informacje pochodzące z testów, pozycje przełączników, stan zasilania, prędkość względem powietrza, wysokość, temperaturę i odczyty ciśnienia. Notuje te parametry w razie wykrycia awarii, na żądanie operatora i w odstępach trzydziestominutowych. CEPS jest więc potrzebny, by pomóc technikom B-1B uporać się z mnogością kombinacji, które powstają, gdy próbują poszukiwać usterek zgodnie z zaleceniami inżynierów-projektantów i specjalistów od eksploatacji. System ekspercki CEPS pomaga obsłudze technicznej w rozpatrzeniu tych kombinacji przez dynamiczną generację drzewa diagnostyki usterek w oparciu o specyfikę sytuacji. Może być zapytywany o wyjaśnienia w zakresie przyjętej linii rozumowania. Dodatkową korzyścią jest to, że obsługa techniczna może obserwować usterki z poziomu systemu, a nie z poziomu testów. W ten sposób CEPS zwiększa zdolność przeciętnego technika do

---

[6] Zbudowany przez Boeing, Rockwell i Eaton dla USAF Aeronautical Systems Division.

wydawania ekspertyz i prowadzenia napraw. W efekcie oszczędności powstałe w wyniku stosowania CEPS ocenia się na 160 milionów $.

Diagnostyczny system ekspercki radaru Pz Flak został skonstruowany na początku lat dziewięćdziesiątych przez niemiecką firmę ESG. Jego przeznaczeniem jest diagnozowanie usterek występujących w pracy radaru. Powody skonstruowania takiego systemu były następujące:

- do ustalenia przyczyn usterek potrzebne było na ogół duże doświadczenie konserwatorów, a liczba osób o odpowiednim doświadczeniu była niewielka,
- lokalizacja usterek, nawet z wykorzystaniem przyrządów pomiarowych była utrudniona,
- dokumentacja radaru nie była wystarczającą pomocą do lokalizacji uszkodzeń.

Baza wiedzy eksperckiego systemu diagnostycznego została stworzona z uwzględnieniem: struktury urządzeń, funkcji poszczególnych bloków, sygnałów przesyłanych między elementami urządzenia, a także katalogu elementów (części), co oprócz podania przyczyny usterki, umożliwia wskazanie uszkodzonych części. Oprócz wiedzy faktograficznej, będącej odzwierciedleniem budowy radaru, baza wiedzy zawierała wiedzę proceduralną, wynikającą z doświadczenia zespołów serwisowych. Wiedza ta była wynikiem skojarzenia symptomów uszkodzeń z ich przyczynami (między innymi ocena i rozpoznanie symptomów, strategie postępowania przy poszukiwaniu usterek, proponowane metody usuwania uszkodzeń).

Interfejs komunikacji z użytkownikiem jest w tym systemie eksperckim rozbudowany. Służy do dwóch podstawowych celów: wprowadzania wyników pomiarów i ustalania diagnoz.

Ustalanie wyników pomiarów może odbywać się dwoma drogami:

- w reżimie dialogu z obsługą serwisową (system ekspercki zadaje pytania, nakazuje wykonanie wybranych pomiarów i wprowadzenie ich wyników),

- poprzez automatyczne dokonywanie pomiarów przez system z wykorzystaniem podłączonych do niego przyrządów.

Diagnozy proponowane przez system ekspercki mogą być prezentowane już po wprowadzeniu wyników pomiarów. Często jednak wymagana jest dodatkowa konwersacja z obsługą serwisową, mająca na przykład na celu wykluczenie niektórych grup usterek.

Wszystkie nowe przypadki diagnostyczne są rejestrowane w systemie (jako nowa wiedza o radarze, przyczynach jego uszkodzeń i sposobach naprawy). Przyczynia się to do precyzyjniejszego i szybszego diagnozowania w kolejnych uszkodzeniach. Oczywiście, zespoły serwisowe wymieniają między sobą rozszerzone bazy wiedzy, stąd korzystają nie tylko ze swoich doświadczeń.

Zbudowanie systemu eksperckiego do diagnozowania radaru umożliwiło znaczne skrócenie czasu wykrywania przyczyn uszkodzeń. Zespoły serwisowe mogą być mniej liczne, a przy tym bardziej skuteczne. Poziom fachowy zespołów serwisowych może być niższy. Skrócenie czasu usuwania uszkodzeń oraz możliwość zatrudnienia przy tym niżej kwalifikowanych fachowców wpłynęły w istotny sposób na obniżenie kosztów serwisowania.

6.3. Systemy eksperckie marynarki wojennej

Reprezentatywnym przykładem zintegrowanego wykorzystania wielu systemów eksperckich jest eksperymentalne centrum zautomatyzowanego dowodzenia floty. Centrum takie utworzono na lotniskowcu Carl Vinson dla dowódcy VI Floty. Urządzenia centrum w sposób zautomatyzowany, a w przyszłości być może automatyczny, mają wypełniać trzy podstawowe funkcje: oceniać sytuację taktyczną,

w tym stan sił i środków własnych, przeciwnika i warunki działań; planować działania bojowe; dowodzić podległymi siłami w toku wykonywania zadań. Ma ono umożliwiać zautomatyzowane podejmowanie decyzji, opracowywać plany działań bojowych, w tym wypadku - operowania floty oraz transmitować zadania do podległych punktów dowodzenia. Adresatami zadań są dowódcy okrętów i sił wspierających flotę. Wymienione funkcje centrum dowodzenia właściwe są dla okresu przygotowania do działań, chociaż w toku realizacji jednych może być prowadzone przygotowanie działań następnych. Ponadto, każdy punkt dowodzenia, także w toku wykonywania zadań, obserwuje przebieg działań dowodzonych sił, weryfikuje wcześniej podjęte decyzje i wprowadza niezbędne korekty.

Z publikowanych informacji wynika, że w eksperymentalnym centrum dowodzenia Floty Stanów Zjednoczonych stosowano w latach osiemdziesiątych komputer Butterfly o równoległym działaniu. Centrum ma zapewniać dowodzenie siłami morskimi wykonującymi zadanie obrony powietrznej oraz obrony przed okrętami podwodnymi i prowadzącymi walkę radioelektroniczna, a równocześnie zwalczającymi okręty nawodne.

Innym przykładem wykorzystania wielu systemów eksperckich na jednym stanowisku dowodzenia jest wyposażenie kwatery CINCPACFLT (Commander-in-Chief for the Pacific Fleet) w Pearl Harbour. Jest to Fleet Command Center Battle Management Program (FCCBMP), który stanowi inteligentny prototyp umożliwiający wspomaganie decyzji sztabowych w zakresie zmiany rozmieszczenia sił i szacowania możliwości bojowych. Najbardziej istotny system ekspercki zaprojektowany do rozwiązywania problemów rozwijania sił nazywa się FRESH (Force Reallocations Expert System). FRESH zaprojektowany został przez Texas Instruments dla DARPA. Jest przewidziany do zarządzania bazą wiedzy zawierającą rzędu 5-8 tysięcy reguł. FRESH może wyciągać wnioski wykorzystując przestrzeń ponad 10 milionów pojęć (np.

165 typów okrętów, wykaz 500 jednostek bojowych, 100 typów wyposażenia, 29 poziomów sił, 200 elementów rozkazów i 2450 portów na Pacyfiku). FRESH jest znany i dzięki temu, że zawiera interfejs w języku naturalnym, nazywany IRUS, zaprojektowany przez firmę Bolt, Beranek i Newman (BBN), do komunikacji z silnie zintegrowaną relacyjną bazą danych oraz konwencjonalny system dowodzenia i sterowania - OSGP (Operations Support Group Prototype). System ten umożliwia efektywne współdziałanie między systemami eksperckimi, istniejącymi bazami danych oraz systemami dowodzenia i sterowania, a także interfejsami w języku naturalnym. Każdy system może posiadać wewnętrzną wiedzę i model rzeczywistości. Pokazy i badania FRESH rozpoczęły się w sierpniu 1986.

Combat Action Team (CAT) to prototyp pierwszego większego systemu eksperckiego rozwijanego na okręcie w środowisku taktycznym. CAT został zainstalowany na pokładzie USS Carl Vinson, gdzie jest nadal testowany i doskonalony. Na bieżąco wspomaga operatora grupy bojowej umożliwiając głównie realizacje funkcji alarmowych i sprawozdawczych. CAT ma trzy istotne zalety, z punktu widzenia efektywności operacyjnej:

1. Określa (ustala) zakres zainteresowania (kompetencje) poza polem widzenia operatora,

2. Określa zakres zainteresowania wewnątrz nieuporządkowanego obrazu, który nie został w inny sposób zauważony przez operatora,

3. Próbuje być pomocny w „czyszczeniu obrazu" w tym sensie, że alarmuje zawsze wtedy, kiedy pojawia się „pierwsza pogłoska" w jakiejś dziedzinie; operator może później sprawdzać każdą z pogłosek i często potrzebuje wyjaśnień dotyczących wielu „złych" wiadomości, z których oczyszczono sprawozdanie (raport).

CAT jest zaimplementowany w OPS-83, zawiera ponad 2400 reguł. Prototyp CAT powstał w Carnegie-Mellon University. Rozwój CAT był finansowany przez DARPA w ramach Strategic Computing (SC) Program.

W roku 1985 Cognitive Systems Inc. zbudował system generowania tekstów dla amerykańskiej Coast Guard, nazwany ERIK (Enhanced Reading using Integrated Knowledge). ERIK czyta cztery typy niezestrukturyzowanych informacji teleksowych przesyłanych przez statki handlowe i wyławia istotne informacje dotyczące nazwy, kodu, pozycji, celu rejsu, marszruty, czasu, prędkości i kursu. Program formatuje później dane i przesyła je do AMVER - bazy danych Coast Guard. Informacje te są wykorzystywane do organizowania operacji poszukiwania i ratowniczych. AMVER zawiera dane o dwudziestu tysiącach statków, ich kodzie identyfikacyjnym (nazwa i sygnał wywoławczy) oraz ich bieżącej pozycji. Baza danych jest aktualizowana co dzień z wykorzystaniem ponad 1000 teleksów od statków podających swoja pozycje i plany rejsów. System jest dobrowolny, jednak w rzeczywistości wszystkie statki handlowe przesyłają informacje o swoich ruchach, jest wiec niemożliwe narzucenie standardowych formatów teleksów. Tak więc, teleksy odbierane przez system ERIK są niestrukturalne i często zawierają niekompletne informacje. We wcześniejszych pracach, podejmowanych przez Coast Guard w celu zautomatyzowania przetwarzania teleksów, były stosowane konwencjonalne techniki programowania i zdołano osiągnąć zaledwie 35% zrozumienie. Początkowe testy systemu ERIK wykazały 93% zrozumienie informacji i średni czas rozumienia 12 sekund na jedna informacje. Po zainstalowaniu systemu ERIK Coast Guard zredukowała personel obsługi przetwarzania teleksów z 17 do 2 osób. ERIK jest znany, gdyż wykorzystuje reprezentacje wiedzy w oparciu o otoczenie pojęciowe stworzone w Yale AI Lab, a także jest jednym z niewielu przykładów kompletnych systemów przetwarzania tekstów w języku naturalnym.

Do wykrywania i identyfikacji jednostek pływających służy system ekspercki SIAP (Surveillance Integration and Automation Project) zbudowany przez Mitre Corp. Podstawą identyfikacji obiektów morskich są informacje z sonaru. Charakterystyki dźwiękowe różnych jednostek pływających kojarzone są z ich typami. System pracuje w czasie rzeczywistym. Wykorzystuje regułową metodę reprezentacji wiedzy. Zaimplementowano go w języku InterLisp.

6.4. Inne wojskowe systemy eksperckie

Z inteligentnymi systemami dowodzenia mają pewien związek urządzenia inteligentne służące do treningów sztabowych i ćwiczeń oraz różnego rodzaju trenażery. Już w etapie tworzenia zautomatyzowanych systemów dowodzenia stwierdzono potrzebę równoległego wdrażania do użytku sprzętu i symulatorów umożliwiających właśnie przeprowadzanie treningów dla obsady pojedynczych punktów dowodzenia.

Amerykanie przenoszą te prawidłowości na inteligentne generacje stanowisk dowodzenia. Na zamówienie DARPA stworzono system ekspercki Analyst przeznaczony do szkolenia w wykonywaniu analiz i ocen taktycznych pola walki. Chociaż był próbowany w dywizji, to jednak będzie przydatny do szkolenia dowództw także innych szczebli taktycznych wojsk lądowych. Podczas prób oceniano celowość i efektywność stosowania systemów eksperckich, a ponadto jakość sprzężenia „człowiek - urządzenia techniczne" oraz efektywność i praktyczność przedstawiania pojęć za pomocą zobrazowań graficznych.

Trenażer Quickskin zbudowano do modelowania działań bojowych na szczeblu korpusu. Zarówno w bazie wiedzy, jak i w procedurach tego urządzenia treningowego uwzględniane są zbiory informacji o przeciwniku i wojskach własnych oraz

funkcjonowaniu systemów rozpoznania, łączności, dowodzenia i zaopatrzenia materiałowo-technicznego.

Budowane są też inteligentne trenażery mające specjalistyczne zastosowanie, umożliwiające nauczanie sterowania systemami uzbrojenia. System ekspercki Stimer stosowany jest do szkolenia mechaników w sterowaniu napędami okrętowymi. Za pomocą trenażera szkoleni są nawigatorzy okrętowi, lotniczy, a wkrótce mają być szkoleni piloci w tankowaniu powietrznym samolotów. Trenażer do nauki tankowania ma być zbudowany za niecałe 7 milionów dolarów. Opłacalność szkolenia za pomocą symulatorów i trenażerów jest oczywista, potwierdzona w praktyce.

System Capir jest przykładem topograficznego systemu eksperckiego. Funkcjonuje opierając się na trzech głównych zasadach, a mianowicie: bezpośrednim wprowadzaniu informacji do bazy wiedzy w dowolnym układzie współrzędnych geograficznych; bezpośredniej dyskretyzacji obrazów trójwymiarowych; bezpośrednim nakładaniu informacji graficznych, przetwarzanych w komputerze na modele obrazów trójwymiarowych. Przed zautomatyzowanym przetwarzaniem obrazów następuje ich dyskretyzacja za pomocą telekamer z przetwarzaniem elektronicznym.

W składzie charakteryzowanego systemu są też podsystemy eksperckie wyodrębniające automatycznie kształt, rozmiary i położenie przedmiotów terenowych, stanowiących sferę zainteresowania topografów. Praca poszczególnych podsystemów eksperckich, analizujących przedmioty terenowe, przebiega w myśl rozkazów słownych, które inicjują wybór określonych odcinków terenu do fotografowania, a następnie ich analizy. Opracowano ponadto system ekspercki korzystający z zasad fizjografii i geomorfologii (oprogramowany w języku Fortran). Jest on wyspecjalizowany w rozróżnianiu naturalnych i sztucznych przedmiotów terenowych zobrazowanych na analizowanych zdjęciach przez ich porównywanie z mapami topograficznymi. Przydatności tego systemu w rozpoznaniu wojskowym nie da się przecenić, zwłaszcza

jeśli weźmie się pod uwagę domniemaną prędkość rozróżniania obiektów i częstość maskowania przez nadawanie obiektom taktycznym cech upodobniających do obiektów naturalnych.

Firma Food Machinery Corp. (FMC) tworzy wielostopniowy, hierarchiczny system sporządzania map, który będzie przystosowany do pracy w pojazdach naziemnych lub statkach powietrznych orientowanych w terenie. System ma zapewnić programowanie ogólnego zadania kierowania lub naprowadzania, planowanie marszrut, wybieranie punktów orientacyjnych, omijanie przeszkód oraz ocenę sytuacji podczas planowania i wykonywania zadań. Zbiory informacji do systemu będą czerpane z dwóch instytucji. Baza danych kartograficznych Agencji Kartograficznej Ministerstwa Obrony Stanów Zjednoczonych dostarcza informacji o charakterze terenu, jego rzeźbie, pokryciu i jakości gruntu oraz o obiektach sztucznych, to znaczy tworach ludzkich w postaci dróg, zabudowań, tam, umocnień obronnych. Informacje gromadzone są w formie symbolicznej. Agencja Poszukiwań Geologicznych dostarcza informacji o funkcjonalnych cechach obiektów terenowych.

Firma FMC opracowuje jeszcze jeden system, o którym niewiele się mówi. Jest on tworzony na bazie trójwymiarowych map cyfrowych. Ma być przydatny podczas: ogólnego planowania działań w myśl postawionego zadania; programowania i opisu marszruty na podstawie mapy i reguł stałych dla tych czynności; zapewniania ruchu na podstawie przetwarzania danych uzyskiwanych za pomocą aparatury obserwującej otoczenie podczas marszu.

Ośrodek Naukowo-Badawczy Sił Powietrznych Stanów Zjednoczonych prowadzi prace mające na celu stworzenie aparatury umożliwiającej prowadzenie analiz kartograficznych nowymi metodami. Chodzi przede wszystkim o operacyjne tworzenie baz wiedzy, niezbędnych podczas stosowania broni kierowanych, naprowadzanych na podstawie precyzyjnych map terenu. W ramach tego tematu mają być stworzone systemy

eksperckie z cyfrową bazą wiedzy kartograficznej do automatycznego sporządzania map i schematów.

Strategic Computing Object-directed Reconnaissance Parallel-processing Image Understanding System (SCORPIUS) to ekspercki system rozpoznawczy. Jest nastawiony na automatyzowanie wybierania obrazów rozpoznania do celów gromadzenia informacji wywiadowczych. SCORPIUS, zaprojektowany dla DARPA przez Hughes Aircraft Electro-Optics Data Systems Group, jest ukierunkowany na dostarczanie informacji z wywiadu strategicznego. Ma zdolność do automatycznego wykrywania i klasyfikowania obiektów zainteresowania (np. łodzie podwodne), wykorzystując pasmo widzialne i obrazy w skali szarości. Prototyp SCORPIUS był przykładem rozumienia w oparciu o modele, w celu wykrywania i rozpoznawania obiektów, analizy warunków działań i rozpoznawania terenu. Te zastosowania wykorzystują technologie systemów wiedzy w obszarze: kierowania w warunkach nieokreśloności, reprezentacji symbolicznej i rozumowania oraz zdobywania i weryfikacji wiedzy. Prototyp SCORPIUS oparto na modelu Acronym zaprezentowanym w Stanford University w późnych latach siedemdziesiątych.

Ciekawym systemem eksperckim[7)] jest Astronaut Science Advisor (ASA) opracowany przez NASA Research Center i Massachusetts Institute of Technology. Wykorzystywany jest do prowadzenia badań na orbicie wokółziemskiej przez załogi samolotów kosmicznych. Służy informacjami i poradami, które normalnie wymagałyby kontaktu astronauty ze specjalistami przebywającymi w naziemnym ośrodku kierowania lotem. Zmniejsza to w oczywisty sposób zależność załogi samolotu kosmicznego od komunikacji z Ziemią, a nawet umożliwia prowadzenie eksperymentów w razie utraty łączności. System ekspercki ASA spełnia cztery główne funkcje: nakazuje wykonywanie

---

[7)] Nie jest to, co prawda, system stosowany w swej pierwotnej wersji w siłach zbrojnych, lecz jego potencjalne możliwości predestynują go do różnych zastosowań wojskowych, w tym w szczególności do sterowania środkami walki.

czynności wynikających z toku eksperymentu, podpowiada rozwiązania wynikłych problemów, zapamiętuje i analizuje wyniki doświadczeń oraz określa następne przedsięwzięcia. Informacje dla astronauty wyświetlane są wewnątrz hełmu.

Równie perspektywicznym dla zastosowań wojskowych, choć jeszcze w siłach zbrojnych bezpośrednio nie wykorzystywanym, jest robot SR2 firmy Cybermotion Inc. Służy on do zastępowania człowieka w dozorowaniu obiektów (ochronie przed osobami niepowołanymi i niebezpiecznymi stanami - na przykład podłożenie bomby). Robot wykorzystuje do poruszania się system nawigacyjny Navmaster. Wyposażony jest w różnego rodzaju sensory (wykrywanie ognia, skażenia powietrza). Z wykorzystaniem wideokamery analizuje sytuację w swoim otoczeniu (do 2500 metrów) i ocenia zagrożenia stwarzane przez znajdujące się w polu widzenia osoby (intruzów) lub przedmioty. Potrafi ogłosić alarm lub podjąć działanie bezpośrednio w celu ograniczenia niebezpieczeństwa dla dozorowanego obiektu (używając, na przykład, miotacza gazu). Ten „elektroniczny wartownik" ma wbudowany system ekspercki z szeroko rozbudowanym mechanizmem pozyskiwania wiedzy (nabywania doświadczeń w czasie działania). Może wykonywać swoje funkcje w pełni autonomicznie lub być wspierany przez człowieka (drogą radiową).

ZAKOŃCZENIE

Mimo dużego postępu w dziedzinie projektowania i wdrażania systemów eksperckich, nie są one wciąż narzędziami doskonałymi. Mają już w wielu przypadkach zdolność do autonomicznego rozwiązywania złożonych problemów, ale niemal zawsze wymagany jest przy tym, nadzór (rada) człowieka. Uczyniono oczywiście duży krok naprzód w dziedzinie przekazywania systemowi informatycznemu cech właściwych człowiekowi (wiedza, intuicja, rozumowanie) - por. rozdział 4. Stworzono także podstawy metodologiczne projektowania i implementacji systemów eksperckich. Jednak do zbudowania systemów w pełni inteligentnych wiedzie wciąż długa droga. Systemy eksperckie są tylko pomostem do stworzenia sztucznej inteligencji.

Naturalny jest opór użytkownika systemu eksperckiego przed korzystaniem z jego propozycji. Tak jak w każdym przypadku wprowadzania nowych rozwiązań technologicznych, istnieje obawa przed konkurencją ze strony maszyny, niewiara w jej umiejętności. Pokonanie tych wątpliwości jest możliwe jedynie na drodze przekonywania potencjalnych użytkowników o pomocności systemów eksperckich w rozwiązywaniu złożonych problemów, szczególnie tych zagadnień, których formalizacja jest trudna, a ewentualne modele matematyczne fragmentów otaczającej nas rzeczywistości mało adekwatne i sprawiające trudności w znalezieniu analitycznego rozwiązania.

Systemy eksperckie to w tej chwili przede wszystkim systemy programowe. Implementowane są na dostępnym użytkownikowi sprzęcie komputerowym i mają zwykle niewielkie wymagania w tym względzie. Wynika to z jednej strony z chęci

upowszechnienia stosowania systemów eksperckich[1)], z drugiej zaś z braku specjalizowanych urządzeń przydatnych do konstruowania takich systemów. Należy sądzić, że dalszy istotny postęp w dziedzinie systemów eksperckich będzie warunkowany powstaniem komputerów specjalizowanych, zdolnych do sprzętowego przetwarzania informacji symbolicznych (co do tej pory jest realizowane programowo). Przejęcie części zadań oprogramowania przez specjalizowane procesory czy pamięci da wyraźny impuls do rozwoju technologii systemów eksperckich.

Swoją popularność systemy eksperckie zawdzięczają między innymi łatwości dostępu do nich. Są na ogół wygodne w użytkowaniu. Mają rozbudowany interfejs użytkownika. Często wyposażone są w moduł objaśniający, który w dużym stopniu uwiarygodnia proponowane rozwiązania i uprzystępnia je, oferując wyjaśnienia sposobu rozumowania oraz uzasadnienie rozwiązań.

Jak wspomniano w rozdziale poświęconym aplikacjom, systemy eksperckie (rozsądnie wprowadzane do użytku) mają pozytywny wpływ na racjonalizację ich obsług (załóg, obsad stanowisk dowodzenia). Często zainstalowanie systemu eksperckiego redukuje stan osobowy, bez szkody dla jakości realizacji zadań. Możliwe jest wykorzystanie niżej wykwalifikowanego personelu[2)], co daje oczywiste oszczędności. Personel wysoko kwalifikowany może lepiej wypełniać swoje funkcje, będąc odciążony od realizacji zadań, które z łatwością przejmuje system ekspercki, a czasami robi to nawet lepiej niż człowiek.

Niewątpliwą zaletą systemów eksperckich jest łatwość dostępu do zgromadzonej w nich wiedzy, a także możliwość poszerzania tej wiedzy (szczególnie w systemach

---

[1)] Specyficzne wymagania sprzętowe (a zatem na ogół drogie) zniechęcają potencjalnego użytkownika.

[2)] Zasadą jest przy tym realizacja zadań na poziomie nie gorszym niż przez personel o przyjętych na danym stanowisku kwalifikacjach. Zatrudnienie niżej kwalifikowanego personelu jest tańsze, a ponadto liczba ekspertów (osób wyposażonych w system ekspercki) może być znacznie większa niż przed wprowadzeniem do eksploatacji takiego systemu. Wynika to z faktu, że systemy eksperckie projektowane są dla dziedzin, gdzie liczba autentycznych ekspertów nie jest wielka, a potrzeby na ich pracę przewyższają możliwości zaspokojenia.

wyposażonych w modułu automatycznego pozyskiwania wiedzy). Przyspiesza to rozwiązywanie problemów. Ma to szczególnie duże znaczenie, gdy mamy do czynienia z wiedzą niepełną lub niepewną, co w normalnych warunkach (bez zastosowania systemu eksperckiego), nastręcza osobom funkcyjnym wielu problemów.

Oczywiście, systemy eksperckie nie są tworami idealnymi (nawet uwzględniając ograniczone zadania przed nimi stawiane). Jedną z wad jest dość wąska specjalizacja, przeznaczenie do rozwiązywania problemów z bardzo wysublimowanej dziedziny. Jak wskazuje na to przegląd aplikacji w rozdziale 6., nie skonstruowano do tej pory systemów eksperckich zdolnych do kompleksowego wspomagania na przykład obsad stanowisk dowodzenia. Działają tam najwyżej specjalizowane, oddzielne systemy eksperckie przystosowane do realizacji określonych funkcji (analiza i ocena sytuacji, rozpoznanie, wspomaganie weryfikacji wariantów decyzji). Stan taki wynika z faktu, że rozwiązanie nawet stosunkowo prostego problemu[3)] wymaga szerokiej wiedzy (a więc bazy wiedzy o znacznej objętości i odpowiednio rozbudowanej maszyny wnioskującej). Pożądany natomiast byłby stan, w którym jeden system ekspercki wspomagałby realizację wielu zadań (mógłby wtedy być wyposażony w wiele stanowisk pracy dla różnych osób funkcyjnych). Obecne mikrokomputery nie zapewniają możliwości zrealizowania takiej koncepcji[4)]. Użycie natomiast jednego, wielkiego komputera (nawet jeżeli zaspokoiłby on potrzeby w dziedzinie gromadzenia wiedzy z odrębnych przecież dziedzin, spowodowałoby innego rodzaju perturbacje - na przykład niemobilność systemu, co w warunkach ewentualnej przyszłej wojny wydaje się niedopuszczalne. Z wymienionych tu powodów prowadzi się badania w zakresie rozproszonych systemów

---

[3)] Prostego w rozumieniu dziedziny (zastosowania), o której mówimy, a nie prostego w ogóle. Przykładowo ocena sytuacji, jako element procesu dowodzenia, może wydawać się prostą czynnością w porównaniu z podejmowaniem decyzji. Jest jednak bez porównania bardziej skomplikowana i wymaga znacznie więcej wiedzy niż rozwiązanie chociażby złożonego zadania programowania całkowitoliczbowego.

[4)] Byłoby to bardzo pożądane, gdyż połączenie wiedzy dotyczącej różnych wąskich problemów wpłynęłoby bardzo pozytywnie na realizację zadań nadrzędnych.

eksperckich, które nie mając wad systemu zbudowanego z wykorzystaniem jednego, dużego komputera, umożliwiłyby zintegrowanie różnych systemów eksperckich.

W obecnym stanie rozwoju technologii systemów eksperckich bardzo istotną rolę odgrywa inżynier wiedzy (co niejednokrotnie było podkreślane w poprzednich rozdziałach). Jest on nie tylko konstruktorem systemu eksperckiego, ale musi w sposób ciągły nadzorować jego użytkowe działanie (konsultując się często z ekspertami). Jest to zjawisko o tyle niekorzystne, że uniemożliwia często samodzielną eksploatacje systemu przez użytkownika. Niestety technologia systemów eksperckich jest jeszcze na tyle skomplikowana, a jednocześnie niedoskonała, że mimo intensywnych prac w tym zakresie, nie udało się usunąć tego niewątpliwie niekorzystnego stanu rzeczy (szczególnie w przypadku bardziej rozbudowanych systemów użytkowych, a nie demonstracyjnych).

Mimo szeroko zakrojonych prac nad interfejsem użytkownika, porozumiewanie się człowieka z systemem eksperckim odbywa się nadal w dość ściśle sformalizowanym języku. Co prawda inżynier wiedzy budując system ekspercki, stara się poznać specyficzny język eksperta (a zatem używany w dziedzinie, dla której budowany jest system), to jednak mimo używania pojęć znanych użytkownikowi, struktura dialogu człowiek-komputer jest rygorystycznie sformalizowana, co w oczywisty sposób utrudnia korzystanie z systemu - człowiek zamiast skupić się wyłącznie na rozwiązywaniu problemu (analizie propozycji systemu), poświęca nadmierną uwagę samemu procesowi dialogu. Nadzieję na ulepszenie pracy systemów eksperckich w tym zakresie niosą prace prowadzone w innych dziedzinach sztucznej inteligencji - rozumieniu mowy i obrazu. Ich stan na dzień dzisiejszy nie jest jeszcze wystarczająco zaawansowany. Wyniki nie wyszły na ogół poza stadium prototypu (chodzi tu o uniwersalne urządzenia, posługujące się nie ograniczonym słownikiem, i rozumiejące mowę, a nie tylko ją

rozpoznające). Interfejs komunikacji z użytkownikiem w języku naturalnym jest bezwzględnym wymogiem rozwoju systemów eksperckich[5)].

Coraz to nowe dziedziny zastosowań systemów eksperckich wymuszają także prace nad nowymi metodami reprezentacji i przetwarzania wiedzy (oraz podziałem tych zadań między sprzęt i oprogramowanie). Symboliczna reprezentacja i przetwarzanie wiedzy nie są nadal zadowalająco rozwinięte, a stanowią w tej chwili barierę rozwoju systemów eksperckich.

Mimo wskazanych niedoskonałości, postęp w dziedzinie konstruowania systemów eksperckich jest zauważalny. Udało już się zrealizować (choć może nie w pełni) naśladowanie rozumowania człowieka. Systemy eksperckie gromadzą wiedzę, nabywają doświadczeń, stosują do rozwiązywania problemów intuicję. Ważny krok w kierunku stworzenia sztucznej inteligencji został uczyniony.

[5)] Jest to tak zwana zewnętrzna intelektualizacja komputera.

SŁOWNIK

A

artificial intelligence	sztuczna inteligencja
automatic methods of knowledge acquisition	automatyczne metody pozyskiwania wiedzy

B

backtracking search	poszukiwanie z powracaniem
backward reasoning	wnioskowanie zstępujące (wstecz)
backward chaining	odwrotny łańcuch wnioskowania
beam	wiązka
best first	najpierw najlepszy
branch and bound	odgałęzienia i ograniczenia
breadth first	najpierw wszerz
brainstorming	„burza mózgów"
British Museum	Muzeum Brytyjskie

C

clause	klauzula
confidence (certainty) factors	współczynniki pewności

D

dedicated expert system	dedykowany system ekspercki
deduction	dedukcja
declarative knowledge	wiedza faktograficzna
depth first	najpierw w głąb
domains	dziedziny
dynamic programming	programowanie dynamiczne

E

expert	ekspert
expert's report	raport eksperta
expert system	system ekspercki
expert system shell	system szkieletowy (powłokowy)

F

forward reasoning	wnioskowanie wstępujące (w przód)
forward chaining	prosty łańcuch wniokowania
frame	rama (szablon)
fuzzy reasoning	rozumowanie rozmyte

G

goal	cel
going through the problem	„przerobienie" problemu

H

heuristic	heurystyka
hypothesis	hipoteza

I

induction	indukcja
inference engine	maszyna wnioskująca
interview	wywiad

K

knowledge	wiedza
knowledge acquisition	pozyskiwanie wiedzy
knowledge base	baza wiedzy
knowledge engineer	inżynier wiedzy
knowledge representation	reprezentacja wiedzy

L

learning by analogy	uczenie przez analogię
learning by being told	uczenie na podstawie instrukcji
learning from discovery	uczenie przez odkrywanie
learning from examples	uczenie na przykładach

M

machine learning	uczenie maszynowe
manual methods of knowledge acquisition	manualne metody pozyskiwania wiedzy
metaknowledge	metawiedza

N

neural networks	sieci neuronowe

O

ordered search procedures	uporządkowane procedury poszukiwania
optimal path	ścieżka optymalna

P

predicates	predykaty
premises	przesłanki
probability theory	teoria prawdopodobieństwa
procedural knowledge	wiedza proceduralna

Q

questionary	kwestionariusz

R

report analyse	analiza raportu
rote learning	uczenie przez zapamiętywanie
rule	reguła

S

semi-automatic methods of knowledge acquisition	półautomatyczne metody pozyskiwania wiedzy
search space	przestrzeń poszukiwań
search graph	graf poszukiwań
semantic network	sieć semantyczna
slot	szczelina (klatka)
some path	jakaś ścieżka
source of knowledge	źródło wiedzy

T

training	trenowanie
triplet	trójka

U

unordered search procedures	nieuporządkowane procedury poszukiwania
user's interface	interfejs użytkownika

A

analiza raportu	report analyse
automatyczne metody pozyskiwania wiedzy	automatic methods of knowledge acquisition

B

baza wiedzy	knowledge base
„burza mózgów"	brainstorming

C

cel	goal

D

dedukcja	deduction
dedykowany system ekspercki	dedicated expert system
dziedzina	domain

E

expert	ekspert

G

graf poszukiwań	search graph

H

heurystyka	heuristic
hipoteza	hypothesis

I

indukcja	induction
interfejs użytkownika	user's interface
inżynier wiedzy	knowledge engineer

K

klauzula	clause
kwestionariusz	questionary

M

manualne metody pozyskiwania wiedzy	manual methods of knowledge acquisition
maszyna wnioskująca	inference engine
metawiedza	metaknowledge
Muzeum Brytyjskie	British Museum

N

najpierw najlepszy	best first
najpierw w głąb	depth first
najpierw wszerz	breadth first
nieuporządkowane procedury poszukiwania	unordered search procedures

O

odgałęzienia i ograniczenia	branch and bound
odwrotny łańcuch wnioskowania	backward chaining

P

pozyskiwanie wiedzy	knowledge acquisition
półautomatyczne metody pozyskiwania wiedzy	semi-automatic methods of knowledge acquisition
poszukiwanie z powracaniem	backtracking search
predykat	predicate
programowanie dynamiczne	dynamic programming
prosty łańcuch wniokowania	forward chaining
„przerobienie" problemu	going through the problem
przesłanka	premise
przestrzeń poszukiwań	search space

R

rama (szablon)	frame
raport eksperta	expert's report
reguła	rule
reprezentacja wiedzy	knowledge representation
rozumowanie rozmyte	fuzzy reasoning

S

sieci neuronowe	neural networks
sieć semantyczna	semantic network
system ekspercki	expert system
system szkieletowy (powłokowy)	expert system shell
szczelina (klatka)	slot
sztuczna inteligencja	artificial intelligence

Ś

ścieżka optymalna	optimal path

T

teoria prawdopodobieństwa	probability theory
trenowanie	training
trójka	triplet

U

uczenie maszynowe	machine learning
uczenie na podstawie instrukcji	learning by being told
uczenie na przykładach	learning from examples
uczenie przez analogię	learning by analogy
uczenie przez odkrywanie	learning from discovery
uczenie przez zapamiętywanie	rote learning
uporządkowane procedury poszukiwania	ordered search procedures

W

wiązka	beam
wiedza	knowledge
wiedza proceduralna	procedural knowledge
wiedza faktograficzna	declarative knowledge
wnioskowanie zstępujące (wstecz)	backward reasoning
wnioskowanie wstępujące (w przód)	forward reasoning
współczynniki pewności	confidence (certainty) factors
wywiad	interview

Ź

źródło wiedzy	source of knowledge

BIBLIOGRAFIA

[1] Addis T.R.: Designing Knowledge-Based Systems, Tab Books Inc., 1986

[2] Air Force Systems Command: Air Force Systems Command Artificial Intelligence Research and Development Investent Plan, (FOUO), HQ AFSC/DLAC, 1987

[3] Allen M.: The Development of An Artificial Intelligence System for Inventory Management, Published by the Council of Logistics Management, Oak Brook, IL., 1986

[4] Anderson D., Oritz C.: AAPLS: A Knowledge-Based System for Aircraft Loading. IEEE EXPERT, zima 1987, ss. 71-79.

[5] Badźmirowski K.: Systemy ekspertowe, PIE, 1991

[6] Bolc L., Borodziewicz W., Wójcik M.: Podstawy przetwarzania informacji niepewnej i niepełnej, PWN 1991

[7] Bolc L., Cytowski J.: Metody przeszukiwania heurystycznego, PWN 1989

[8] Bolc L., Zaręba J.: Wprowadzenie do uczenia się maszyn, AOWRM, 1992

[9] Bubnicki Z.: Wstęp do systemów ekspertowych, PWN 1990

[10] Chwiałkowska E.: Sztuczna inteligencja, ZNI 1991

[11] Eisenhower D.D.: Krucjata w Europie, Wyd. MON, 1959

[12] Feigenbaum E.A.: Artificial Intelligence: An Overview of Knowledge Engineering and Expert Systems, Artificial Intelligence Satelite Symposium, Dallas, 1985

[13] Gatnar E., Stąpor K.: Prolog, PLJ 1991

[14] Goto Y., Stentz A.: Mobile Robot Navigation: The CMU System. IEEE EXPERT, zima 1987 ss. 44-54

[15] Hayes F., Waterman D.A., Lenat D.B.: Building Expert Systems, Addison-Wesley Publ. Comp., 1983

[16] Ignizio J.: Introduction to Expert Systems, McGraw-Hill Inc., 1991

[17] Jackson P.: Introduction to Expert Systems, Addison-Wesley Publ. Comp., 1988

[18] Jurkiewicz Z., Lao M. J.: Język programowania LISP, PWN 1992

[19] Keller R.: Expert System Technology, Yourdon Press, 1987

[20] Klahr P., Waterman D.A.: Expert Systems: Techniques, Tools and Application, Addison-Wesley Publ. Comp., 1986

[21] Kowalski R.: Logika w rozwiązywaniu zadań, WNT 1989

[22] Pappenhausen D.: B-1B Maintenance Diagnostic Gain a Long Memory, Defense Electronics, wrzesień 1986, ss. 73-76.

[23] Regan G.: Błędy militarne, VASCO 1992

[24] Sosnkowski K.: Cieniom września, Wyd. MON 1989

[25] Szałas A.: Zarys dedukcyjnych metod automatycznego wnioskowania, AOWRM 1992

[26] Sztemienko S.: Sztab generalny w latach wojny, Wyd. MON

[27] Świątnicki W., Świątnicki Z.: Wojna w kosmosie?, Wyd. MON 1989

[28] Świątnicki W., Świątnicki Z.: Bronie inteligentne, Wyd. Bellona 1992

[29] Tadeusiewicz R., Flasiński M.: Rozpoznawanie obrazów, PWN 1991

[30] Terlecki O.: Pułkownik Beck, KAW 1985

[31] Townsend C.: Mastering Expert Systems with Turbo Prolog, Howard W. Sams & Comp., 1988

[32] Waterman D.A.: A Guide to Expert Systems, Addison-Wesley Publ. Comp., 1986

[33] Weischedel R.: IRUS/JANUS: Natural Language Interface Technology in The Strategic Computing Program. SIGNAL, sierpień 1986, ss. 79-86

[34] Weiss S.M., Kulikowski C.A.: A Practical Guide to Designing Expert Systems, Rowman & Allenheld, 1984

[35] Winston P.H.: Artificial Intelligence, Addison-Wesley Publ. Comp. 1977

[36] Zbiorowe: Wojna obronna Polski 1939, Wyd. MON 1979

ZAŁĄCZNIKI

Rozprawa zawiera wiele elementów teoretycznych. Omówiono w niej zarówno problematykę projektowania, jak i implementowania (konstruowania) systemów eksperckich. Omówione w rozdziale 6. przykłady świadczą o szerokim zakresie prac prowadzonych na świecie. Chcąc dać orientację co do praktycznych możliwości implementacji systemów eksperckich zamieszczone zostały kolejne załączniki. Prezentują one prace prowadzone w Polsce. Zawierają opisy dedykowanych systemów eksperckich lub ich elementów zbudowanych przez studentów i współpracowników autora lub przez niego samego.

Załącznik 1

ORYGINALNY SYSTEM EKSPERCKI DO WSPOMAGANIA PLANOWANIA ZAPOTRZEBOWANIA SIŁ ZBROJNYCH NA STATKI POWIETRZNE

Zaprojektowany i zaimplementowany system ekspercki służy do wspomagania planowania wyposażania sił zbrojnych w statki powietrzne. Planowanie rozwoju stanu sił powietrznych nie jest trywialnym problemem. Ma tak wiele uwarunkowań, że przedstawienie tego zagadnienia w postaci formalnego modelu matematycznego (a następnie rozwiązanie go) jest niemożliwe. Nawet gdyby udało się skonstruować model o zadowalającej adekwatności (w odniesieniu do rzeczywistości), to i tak byłby on na tyle rozbudowany i skomplikowany, iż rozwiązanie go byłoby niemożliwe.

Z powyższych uwarunkowań wynikła potrzeba zaproponowania narzędzia, które w warunkach dużej nieokreśloności problemu, umożliwiałoby racjonalizację podejmowania decyzji w zakresie rozbudowy sił powietrznych. Narzędzie takie musiało odwoływać się do wiedzy ludzi-ekspertów, bo tylko wykorzystanie jej dawało nadzieję na poprawność (akceptowalność) uzyskiwanych rozwiązań. Próby budowy modelu matematycznego skończyły się niepowodzeniem, z powodu zbyt rozbudowanej skali problemu.

Podstawą działania systemu eksperckiego (zawartością jego bazy wiedzy) są opinie ekspertów wyrażone w ankietach (i wprowadzone do bazy wiedzy w trakcie konstruowania systemu, a następnie uzupełniane w trakcie eksploatacji, w miarę pozyskiwania nowej wiedzy). Z formalnego punktu widzenia do pozyskania wiedzy od ekspertów zostały wykorzystane poniższe metody pozyskiwania wiedzy:

a) wywiad - w celu ustalenia istotnych elementów, koniecznych do wzięcia pod uwagę w trakcie rozwiązywania problemu rozwoju sił powietrznych (rodzajów pozyskiwanych statków powietrznych; potencjalnych źródeł pozyskiwania; podziału procesu pozyskiwania na etapy - odcinki czasu),

b) kwestionariusze (ankiety) - dla uzyskania od ekspertów wiedzy o potencjalnych źródłach pozyskiwania statków powietrznych, kosztach pozyskania z różnych źródeł, kolejności zakupów oraz udziale poszczególnych rodzajów statków powietrznych w zapewnieniu bezpieczeństwa państwa.

Powyższe informacje (zdobyta od ekspertów wiedza) posłużyły do zaprojektowania systemu eksperckiego wspomagającego podejmowanie decyzji o rozwijaniu sił powietrznych (pozyskiwaniu statków powietrznych).

Podstawą działania systemu eksperckiego jest jego baza wiedzy. Zawiera ona przede wszystkim informacje o:

- poglądach ekspertów na pożądane źródła pozyskania statków powietrznych (z określeniem procentowego udziału poszczególnych źródeł),
- zdaniu ekspertów co do prognozowanych kosztów pozyskania statków powietrznych z poszczególnych źródeł,
- proponowanej przez ekspertów kolejności zakupów (uzupełniania sił powietrznych), z podziałem na etapy rozwoju sił powietrznych,
- przekonania ekspertów co do procentowego udziału poszczególnych grup statków powietrznych w zapewnieniu bezpieczeństwa państwa.

Powyższe informacje służą do estymowania (ustalania) ograniczeń ilościowych co do rozwoju sił powietrznych, a także współczynników kosztów i efektywności poszczególnych rodzajów statków powietrznych. Wykorzystywane są przy tym formalne metody statystyki

matematycznej, takie jak: estymacja punktowa i estymacja przedziałowa (z określonym poziomem ufności). Uzyskana od ekspertów wiedza może być weryfikowana (choć nie musi) pod kątem wiarogodności (eliminacja opinii wątpliwych), w celu uniknięcia brania pod uwagę opinii skrajnych, wyraźnie odbiegających od zdania większości ekspertów.

W systemie uwzględniany jest stopień przygotowania ekspertów do wypowiadania opinii. Ranga oceny eksperta zależy od jego kompetencji. Opinie bardziej kompetentnych ekspertów mają większy wpływ na uogólnioną wiedzę (bierze się przy tym pod uwagę zarówno samoocenę eksperta, jak i ocenę eksperta nadaną przez użytkownika systemu; można również zaniechać wartościowania opinii ekspertów).

W systemie zakłada się, że rozwój sił powietrznych odbywał się będzie w czterech etapach (wynikło to z wywiadów przeprowadzonych z ekspertami w celu ustalenia sposobu zaspokajania potrzeb sił powietrznych na statki powietrzne). Każda z branych pod uwagę grup statków powietrznych, to znaczy:

- samoloty myśliwskie,
- samoloty szturmowe i bombowe,
- samoloty rozpoznawcze,
- samoloty pomocnicze (transportowe i łącznikowe),
- samoloty szkolne,
- śmigłowce,

może być zakupywana w każdym z czterech etapów. Rozkład zakupów (liczby statków poszczególnych rodzajów zakupywanych w kolejnych etapach) jest ustalany na podstawie zdań ekspertów. Ich opinie służą do ustalenia przedziałów liczbowych (minimum - maksimum) zakupów w poszczególnych etapach.

Podobnie estymowane są przedziały liczbowe pożądanego pozyskania statków powietrznych z poszczególnych źródeł:

- zakup w Unii Europejskiej,
- zakup we Wspólnocie Niepodległych Państw,
- zakup w Stanach Zjednoczonych,
- dzierżawa ze Stanów Zjednoczonych,
- montaż w kraju,
- produkcja w kraju na podstawie licencji,
- produkcja w kraju statków powietrznych własnej konstrukcji.

Powyższe dane są ekstrahowane z opinii ekspertów i służą jako ograniczenia (dolne i górne) przy rozwiązywaniu problemu rozwijania sił powietrznych. Ograniczenia są dolnymi i górnymi granicami przedziału ufności uzyskiwanego dla przedziałowej estymacji wartości oczekiwanej[1)].

W systemie przygotowano mechanizm eliminacji wyników wątpliwych. Oparty jest on na założeniu, że opinie ekspertów powinny mieścić się w pewnym zakresie ocen. Zbytnie odbieganie ocen któregoś z ekspertów (oceny ekstremalne) może świadczyć o jego pomyłce czy braku wystarczających kompetencji. Stąd wyniki odbiegające wyraźnie od innych mogą być eliminowane i nie być uwzględniane przy estymacji ograniczeń (jeżeli takie podejście nie jest zgodne z poglądami użytkownika, może on zrezygnować z eliminacji wyników wątpliwych, a nawet poniechać ustalania ograniczeń przez system i podać własne ograniczenia, wynikające czy to z samodzielnej analizy ankiet, czy też własnego przekonania).

[1)] Zamiast estymacji przedziałowej wartości oczekiwanej może być, na żądanie użytkownika systemu, zastosowane wyznaczanie minimalnej i maksymalnej wartości parametrów spośród podanych przez ekspertów.

W problemie planowania wyposażania sił zbrojnych w statki powietrzne uwzględniono dwie grupy współczynników (wyznaczonych na podstawie opinii ekspertów, niezbędnych do racjonalizacji zaspokajania potrzeb pozyskiwania statków powietrznych przez siły zbrojne):

- koszty pozyskania z różnych źródeł poszczególnych rodzajów statków powietrznych (42 współczynniki),
- efektywności poszczególnych rodzajów statków powietrznych (6 współczynników).

Obie grupy współczynników zostały wyekstrahowane z wiedzy pozyskanej od ekspertów. Ich opinie posłużyły do:

a) określenia średnich przewidywanych kosztów pozyskania statków powietrznych z różnych źródeł (posłużono się przy tym estymacją punktową wartości oczekiwanej kosztów[2)]),

b) wyliczenia współczynników efektywności pojedynczych statków powietrznych poszczególnych rodzajów (estymując punktowo wartość, z ewentualną eliminacją wyników wątpliwych[3)]).

Podstawowym zadaniem rozwiązywanym w systemie jest optymalizacja rozwoju sił powietrznych. Funkcję kryterium stanowi efektywność całych sił powietrznych obliczana jako sumoiloczyn liczb poszczególnych rodzajów statków powietrznych i ich efektywności jednostkowej. Ograniczeniami dla zadania optymalizacji są:

- minimalne i maksymalne liczby statków możliwych (i koniecznych) do pozyskania z różnych źródeł (według grup statków),

---

[2)] Możliwe jest przy tym wyeliminowanie spośród ocen ekspertów wyników wątpliwych, tak jak to uczyniono w przypadku ograniczeń.

[3)] Wzięto przy tym pod uwagę przekonanie ekspertów co do udziału poszczególnych rodzajów statków powietrznych w zapewnieniu bezpieczeństwa państwa oraz ogólne liczby statków przewidzianych do pozyskania we wszystkich etapach rozwoju sił powietrznych.

- minimalne i maksymalne liczby statków przewidzianych do zakupu w poszczególnych etapach rozwoju sił powietrznych (z podziałem na grupy statków),
- maksymalne możliwe nakłady na wszystkie statki powietrzne zakupywane w poszczególnych etapach.

Tak sformułowane zadanie rozwiązywane jest za pomocą algorytmu simpleks dla zadania programowania całkowitoliczbowego.

Znalezienie rozwiązania optymalnego przy takich ograniczeniach w niektórych przypadkach okazuje się niemożliwe. Wtedy w systemie dokonuje się znajdowania rozwiązań suboptymalnych. Służą do tego dwa mechanizmy:

a) rozwiązywanie zadania optymalizacji etapami (znajdowanie rozwiązań optymalnych w poszczególnych etapach, a nie jednego, globalnego rozwiązania optymalnego), co nie prowadzi, co prawda, do rozwiązania optymalnego, ale jednak racjonalnego, a to przyświeca każdemu ekspertowi,

b) znajdowanie rozwiązań z wykorzystaniem heurystycznych metod ich poszukiwania.

System ekspercki wspomagania planowania rozwoju sił powietrznych ma wbudowane mechanizmy pozyskiwania wiedzy. Służą one do rozbudowywania bazy wiedzy systemu. Nowo pozyskiwana wiedza wpływa na konstrukcję ograniczeń dla zadania optymalizacji rozwoju sił powietrznych (zmieniają się wartości ograniczeń). Z nowo pozyskanej wiedzy ekstrahowane są także współczynniki kosztów i współczynniki efektywności poszczególnych typów statków powietrznych.

Pozyskiwanie wiedzy do systemu odbywa się na bieżąco, w trakcie jego pracy. Każdy przeprowadzony wywiad z ekspertem (w postaci ankiety), wzbogaca bazę wiedzy systemu. Dzieje się to autonomicznie, bez ingerencji użytkownika, którego zadaniem jest jedynie udostępnienie systemu ekspertowi w celu wypełnienia ankiety.

W obsłudze systemu można wyróżnić trzy główne grupy zadań:

a) pozyskiwanie wiedzy od ekspertów w trakcie eksploatacji systemu,

b) przygotowanie danych wejściowych dla problemu rozwijania sił powietrznych,

c) rozwiązanie problemu rozwijania sił powietrznych (ewentualnie wielokrotne, przy zmianie ograniczeń lub współczynników).

Pierwsze z zadań realizowane jest z wykorzystaniem kwestionariuszy ankiet zawartych w systemie. Zadanie to powinno być w zasadzie wykonywane przez kolejnych ekspertów (nawet tych, którzy mają zamiar skorzystać z narzędzi udostępnianych przez system). Wypełnianie przez nich ankiet wzbogaca wiedzę systemu, przyczyniając się do doskonalenia uzyskiwanych przez system rozwiązań. Oczywiście, użytkownik (eksploatator) systemu może (i powinien) wspomagać ekspertów w wypełnianiu kwestionariuszy, gdyż nie są oni na ogół przygotowani do tego typu czynności, może rozpraszać ich techniczna strona wprowadzania informacji, a niekiedy zniechęcać nawet do całego przedsięwzięcia.

Przygotowanie danych wejściowych do rozwiązania problemu rozwijania sił powietrznych jest ciągiem czynności zmierzających do przetworzenia zgromadzonej wiedzy ekspertów do postaci ograniczeń i współczynników dla zadania optymalizacji. W zakresie poszczególnych grup informacji należy wykonać poniższe czynności:

a) ustalenie ograniczeń na pozyskanie statków powietrznych z poszczególnych źródeł;

- ustalić sposób wyznaczania przedziału liczby pozyskiwanych statków powietrznych (jako minimum i maksimum z ocen podanych przez ekspertów lub jako estymowaną przedziałowo wartość oczekiwaną, albo podać własne wartości),

- ustalić współczynnik ufności (0,1; 0,05; 0,02; 0,01; 0,001) dla potrzeb wyznaczania przedziału ufności - tylko w wypadku estymacji przedziałowej,

- ustalić przedział, w którym oceny podane przez ekspertów będą uważane za wiarogodne (wybierając liczbę odchyleń standardowych, o które ocena może różnić się od wstępnie obliczonej średniej - może to być 0,5, 1, 2, 3 lub 10 odchyleń standardowych),

- uruchomić proces wyznaczania ograniczeń (wskazując pole OBLICZ);

b) ustalenie ograniczeń na pozyskanie statków powietrznych w poszczególnych etapach rozwoju sił powietrznych:

- ustalić sposób wyznaczania przedziału liczby pozyskiwanych statków powietrznych (jako minimum i maksimum z ocen podanych przez ekspertów lub jako estymowaną przedziałowo wartość oczekiwaną, albo podać własne wartości),

- ustalić współczynnik ufności (0,1; 0,05; 0,02; 0,01; 0,001) dla potrzeb wyznaczania przedziału ufności - tylko w wypadku estymacji przedziałowej,

- ustalić przedział, w którym oceny podane przez ekspertów będą uważane za wiarogodne (wybierając liczbę odchyleń standardowych, o które ocena może różnić się od wstępnie obliczonej średniej - może to być 0,5, 1, 2, 3 lub 10 odchyleń standardowych),

- uruchomić proces wyznaczania ograniczeń (wskazując pole OBLICZ);

c) ustalenie współczynników jednostkowej efektywności poszczególnych rodzajów statków powietrznych:

- ustalić przedział, w którym oceny podane przez ekspertów będą uważane za wiarogodne (wybierając liczbę odchyleń standardowych, o które ocena może różnić się od wstępnie obliczonej średniej - może to być 0,5, 1, 2, 3 lub 10 odchyleń standardowych),

- uruchomić proces wyznaczania ograniczeń (wskazując pole OBLICZ);

d) ustalenie współczynników jednostkowej efektywności poszczególnych rodzajów statków powietrznych:

- ustalić przedział, w którym oceny podane przez ekspertów będą uważane za wiarogodne (wybierając liczbę odchyleń standardowych, o które ocena może różnić się od wstępnie obliczonej średniej - może to być 0,5, 1, 2, 3 lub 10 odchyleń standardowych),
- uruchomić proces wyznaczania ograniczeń (wskazując pole OBLICZ).

Rozwiązanie problemu rozwijania sił powietrznych wykonywane jest automatycznie przez system ekspercki. Wymaga jedynie zainicjowania przez wskazanie pola OBLICZ. Rozwiązanie zadania nie musi być aktem jednorazowym. System jest przystosowany do wielokrotnego rozwiązywania problemu, przy zmieniających się ograniczeniach czy współczynnikach.

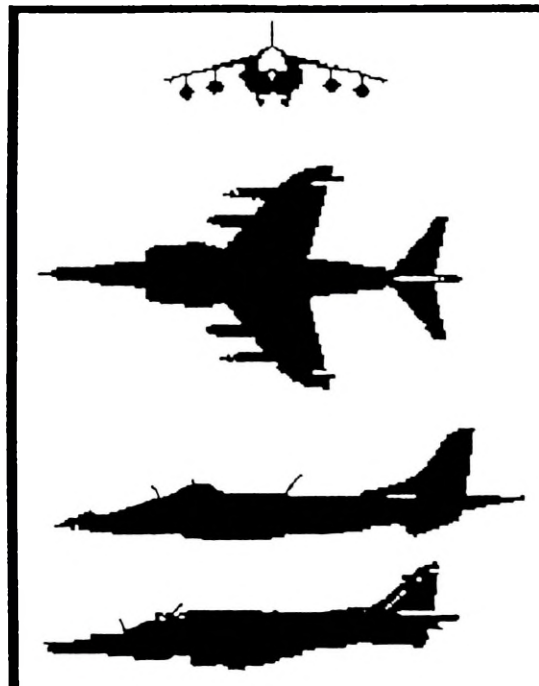
Załącznik 2

ORYGINALNY SYSTEM EKSPERCKI DO WSPOMAGANIA ROZPOZNAWANIA STATKÓW POWIETRZNYCH

Podstawowym zadaniem systemu eksperckiego jest wspomaganie rozpoznawania statków powietrznych. System jest w zasadzie przeznaczony dla wzrokowych obserwatorów przestrzeni powietrznej. Umożliwia identyfikację typu przelatującego statku powietrznego na podstawie cech zauważonych przez obserwatora (na przykład: układ i kształt skrzydeł, liczba silników).

Dodatkowym zadaniem systemu eksperckiego jest szkolenie obserwatorów wzrokowych. Odbywa się to z wykorzystaniem zawartych w bazie wiedzy sylwetek statków powietrznych (por. rysunki Z.2.1. i Z.2.2.). Jako pomocnicze informacje przy nauce rozpoznawania typów obiektów powietrznych wykorzystywane są zbiory ich cech rozpoznawczych (tak, jak przy wykorzystywaniu systemu do wspomagania rozpoznawania statków powietrznych). Umiejętności obserwatora są poddawane ocenie.

Podstawą działania systemu jest wiedza zgromadzona w bazie wiedzy. Początkowa zawartość bazy wiedzy została ustalona na podstawie wywiadów z ekspertami. Na ich podstawie określono cechy identyfikacyjne obiektów powietrznych, możliwe wartości tych cech oraz reguły wiążące przesłanki (wartości cech obiektów) z konkluzjami (typami obiektów powietrznych). W systemie przyjęto hybrydową metodę reprezentacji wiedzy; wykorzystywane są trójki <obiekt, atrybut, wartość> i reguły.



Statek powietrzny : Harrier GR5

McDonnell Douglas - BAe Harrier GR5 jest samolotem odrzutowym, jednomiejscowym produkcji amerykańsko-brytyjskiej.
Używany jest jako samolot szturmowy.
Posiada dwa działka 30mm oraz może przenosić rakiety i bomby podwieszone na sześciu pylonach.
Jest górnopłatem o skrzydłach wygiętych w tył, o ujemnym wzniosie.
Posiada dwa silniki zamocowane w kadłubie o półokrągłych wlotach powietrza z boku kadłuba.
Posiada jeden trójkątny statecznik pionowy i dwa poziome zamocowane w części ogonowej.
Pułap operacyjny : 1600 m.
Zasięg : 3330 m.
Prędkość przelotowa : 800 km/h.

Cechy rozpoznawcze przedstawionego statku powietrznego

napęd	rodzaj	odrzutowy
skrzydła	układ	górnopłat
silniki	ilość	dwa
silniki	lokalizacja	z boku kadłuba
skrzydła	kształt	wygięte w tył
statecznik pionowy	ilość	jeden
skrzydła	wznios	ujemny
dziób	kształt	ostry
usterzenie ogonowe	rodzaj	odwrócona litera T
wloty powietrza	kształt	półkolisty
wloty powietrza	lokalizacja	z boku kadłuba
skrzydła	końce	proste

SPACJA - Koniec prezentacji TAB - Ciąg dalszy opisu

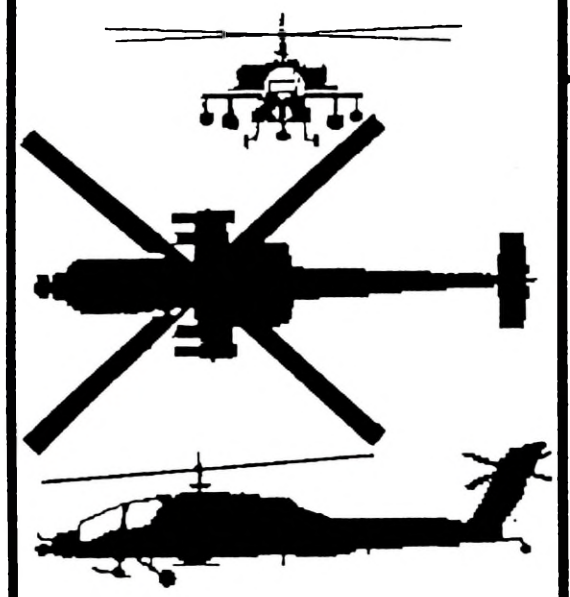
Rys.Z.2.1. Przykład prezentacji sylwetki samolotu w ekspercki systemie wspomagania rozpoznawania statków powietrznych

Moduł wnioskowania zbudowany jest w oparciu o odwrotny łańcuch wnioskowania. Przyjmowane są hipotezy dotyczące typów obiektów powietrznych, a następnie poszukuje się potwierdzenia tych hipotez na drodze sprawdzania prawdziwości przesłanek (wprowadzonych przez obserwatora zauważonych przez niego cech obiektów powietrznych). Rozpoznanie systemu podawane jest w postaci listy typów, uszeregowanych według wiarogodności reguł wskazujących na podane typy statków powietrznych oraz wagi zidentyfikowanych cech obiektu.

W systemie jest wbudowany moduł pozyskiwania wiedzy. Pozyskiwanie wiedzy odbywa się półautomatycznie, w trakcie pracy operatora systemu. Wszelkie decyzje operatora (obserwatora wzrokowego), dotyczące akceptacji bądź odrzucenia rozpoznań proponowanych przez system ekspercki, są uwzględniane przez moduł pozyskiwania wiedzy. Decyzje te wpływają na zmianę wiarogodności reguł istniejących w systemie lub też tworzenie nowych reguł, wcześniej nie znanych systemowi eksperckiemu.

Moduł komunikacji z użytkownikiem umożliwia obserwatorowi wzrokowemu wprowadzanie do systemu zaobserwowanych wartości cech statków powietrznych. Wprowadzanie to odbywa się, co prawda, z wykorzystaniem klawiatury, ale jest ułatwione dzięki rozbudowanym menu, umożliwiającym wprowadzanie wartości cech przez wskazywanie ich na ekranie komputera.

Oddzielnym modułem w eksperckim systemie wspomagania rozpoznawania obiektów powietrznych jest moduł szkolenia obserwatorów wzrokowych. Obserwatorom prezentowane są kolejno sylwetki różnych typów statków powietrznych (w trzech rzutach) wraz z opisem charakterystycznych cech tych statków. Na tej podstawie obserwator ma za zadanie wybranie jednej z wyświetlonych w menu nazw typów. Moduł szkolenia weryfikuje poprawność tego rozwiązania i podaje wynik do wiadomości



Statek powietrzny : AH-64A Apache

McDonnell Douglas AH-64 Apache jest dwumiejscowym szturmowym śmigłowcem amerykańskim.
Posiada dwa silniki zamocowane z boku kadłuba pod wirnikiem o okrągłych wlotach powietrza.
Jego uzbrojenie to automatyczne działko oraz rakiety podwieszone na wspornikach.
Jego podwozie to koła.

Cechy rozpoznawcze przedstawionego statku powietrznego

napęd	rodzaj	śmigłowcowy
skrzydła	ilość płatów	brak
wirnik	ilość	jeden
silniki	ilość	dwa
belka ogonowa	konstrukcja	pełna
wloty powietrza	kształt	kolisty
wloty powietrza	lokalizacja	z boku kadłuba
kadłub	kształt	spłaszczony
statecznik poziomy	ilość	dwa
wsporniki uzbrojenia	występuje	tak
kabina	lokalizacja	w części górnej
podwozie	rodzaj	koła

SPACJA - Koniec prezentacji TAB - Ciąg dalszy opisu

Rys.Z.2.2. Przykład prezentacji sylwetki śmigłowca w eksperckim systemie wspomagania rozpoznawania statków powietrznych

obserwatorowi. Seria takich rozpoznań stanowi podstawę do oceny obserwatora i jest podawana po zakończeniu seansu szkolenia.

Z zaprojektowanym systemem eksperckim do rozpoznawania obiektów powietrznych prowadzone były liczne próby. Ich wyniki wskazują na przydatność tego typu systemu, choć ręczne wprowadzanie zidentyfikowanych cech obiektu jest nie tylko uciążliwe, ale i znacznie spowalnia proces rozpoznawania. Stąd dalsze prace prowadzone są w kierunku umożliwienie rozpoznawania na podstawie obrazów obiektów powietrznych (zdjęcie, obraz telewizyjny). W procesie identyfikacji w takim hybrydowym systemie eksperckim zostaną wykorzystane sieci neuronowe.

Załącznik 3

PRZYKŁADOWE PROSTE SYSTEMY EKSPERCKIE ZAKODOWANE W JĘZYKU TURBO-PROLOG

Poniższy przykład przedstawia niewielki system ekspercki do rozpoznawania samolotów. Został zaimplementowany w Turbo-Prologu. Posiada bazę wiedzy składającą się z reguł. Pracuje z wykorzystaniem odwrotnego łańcucha wnioskowania.

Wykorzystując system można skorzystać z następujących udogodnień stwarzanych przez interfejs użytkownika:

- wnioskowanie o typie samolotu na podstawie wprowadzonych, wybranych jego cech[1)],
- aktualizacja bazy wiedzy (dopisywanie bądź usuwanie reguł),
- wyświetlanie zawartości bazy wiedzy.

```
DOMAINS
  nazwa,predkosc,skrzydla,plat,bazowanie,stealth,naped,dlug=string
  l_silnikow=integer

/* ------------------------------------------------------------ */

DATABASE
    samolot(string,string,string,string,string,string,string,integer,string)

/* ------------------------------------------------------------ */

PREDICATES
  start
  make(string,string,string,string,string,string,string,integer,string)
```

[1)] Cechami samolotu są: nazwa typu, prędkość (ponaddźwiękowa, podddźwiękowa), skrzydła o zmiennej geometrii (tak/nie), rodzaj płatowca (górnopłat, średniopłat, dolnopłat), miejsce bazowania (lotniskowce, lotniska lądowe), wykonanie w technologii stealth (tak/nie), napęd (odrzutowy, śmigłowy), liczba silników, długość większa od 20 metrów (tak/nie).

```
opcja(integer)
czytaj1(integer)
pokaz
szukaj
proced1(string,string)
proced2(string,string)
proced3(string,string)
proced4(string,string)
proced5(string,string)
proced6(string,string)
proced7(string,string)

/* ------------------------------------------------------------ */

GOAL
 start.

/* ------------------------------------------------------------ */

CLAUSES
 start
   :- clearwindow,
     nl,
     write("pchor.Ireneusz Jazownik"),nl,nl,nl,nl,
     write("          ******      SYSTEM EKSPERCKI      ******"),nl,
     write("          ******   ROZPOZNAJACY SAMOLOTY    ******"),nl,nl,nl,
     write("           ------------------------------------"),nl,
     write("           1 - Wyswietlenie zawartosci bazy danych"),nl,
     write("           2 - Dopisanie nowego samolotu do bazy"),nl,
     write("           3 - Usuniecie samolotu z bazy"),nl,
     write("           4 - Wyszukanie samolotu na podstawie danych"),nl,
     write("           Esc - Koniec pracy"),nl,
     write("           ------------------------------------"),nl,nl,
     write("           Podaj opcje: "),
     readint(I),
     opcja(I),
     start.
 start.

/* ------------------------------------------------------------ */

 opcja(1) :- pokaz.
 opcja(2) :- clearwindow,
         write("Podaj nazwe samolotu: "),readln(Nazwa),
                         write("Rozwijana predkosc (ponaddzwiekowa,poddzwiekowa)
:"),readln(Predkosc),nl,
         write("Czy ma zmienna geometrie skrzydel (Tak/Nie) : "),readln(Skrzydla),nl,
         write("Jaki rodzaj platowca (dolnoplat,srednioplat,gornoplat) : "),readln(Plat),nl,
```

```
                    write("Jaki charakter bazowania(lotniskowce, bazy ladowe) :
"),readln(Bazowanie),nl,
        write("Czy wykonany w technologii STEALTH (Tak/Nie) :"),readln(Stealth),nl,
        write("Podaj rodzaj napedu (odrzutowy,smiglowy) : "),readln(Naped),nl,
        write("Podaj liczbe silnikow : "),readint(Silniki),nl,
        write("Czy dlugosc jest wieksza niz 20 m (Tak/Nie) : "),readln(Dlug),nl,

assert(samolot(Nazwa,Predkosc,Skrzydla,Plat,Bazowanie,Stealth,Naped,Silniki,Dlug)).
 opcja(3) :- clearwindow,
        write("Podaj nazwe usuwanego samolotu : "),readln(Nazwa),
        retract(samolot(Nazwa,_,_,_,_,_,_,_,_)),! ;
        write("Nie ma takiego samolotu w bazie").
 opcja(4) :- szukaj.
 opcja(_) :- write("Zle wybrana opcja").

/* ---------------------------------------------------------- */

 pokaz :- samolot(Nazwa,Predkosc,Skrzydla,Plat,Bazowanie,Stealth,Naped,Silniki,Dlug),
        clearwindow,
        write("                    SKLAD BAZY: "),nl,nl,nl,nl,
        write("                  NAZWA SAMOLOTU"),nl,nl,nl,nl,
            write("   PREDKOSC * ZMIENNA GEOM. SKRZYDEL * RODZAJ
PLATOWCA * BAZOWANIE "),nl,nl,nl,nl,nl,
            write(" TECHNOLOGIA STEALTH * RODZAJ NAPEDU * LICZBA
SILNIKOW * DLUGOSC > 20 m  "),nl,nl,nl,
        cursor(6,25),write(Nazwa),
        cursor(10,1),write(Predkosc),
        cursor(10,26),write(Skrzydla),
        cursor(10,47),write(Plat),
        cursor(10,63),write(Bazowanie),
        cursor(15,8),write(Stealth),
        cursor(15,27),write(Naped),
        cursor(15,50),write(Silniki),
        cursor(15,66),write(Dlug),
        readchar(Z),nl,fail.
 pokaz :- nl.

/* ---------------------------------------------------------- */

 szukaj :- clearwindow,
        write("          Podaj dane jakimi dysponujesz: "),
        nl,nl,
        write("     1. Nazwa samolotu: "),readln(Na),
        write("     2. Osiagana predkosc (ponaddzwiekowa,poddzwiekowa): "),readln(Pr),
        write("     3. Czy ma zmienna geometrie skrzydel (Tak/Nie): "),readln(Sk),
        write("     4. Rodzaj platowca (gornoplat,srednioplat,dolnoplat): "),readln(Pl),
        write("     5. Charakter bazowania (lotniskowce,bazy ladowe): "),readln(Ba),
        write("     6. Czy wykonany w technologii STEALTH (Tak/Nie): "),readln(St),
```

```
        write("      7. Jaki rodzaj napedu (odrzutowy,smiglowy): "),readln(Nap),
        write("      8. Liczba silnikow : "),czytaj1(Si),
        write("      9. Czy dlugosc jest wieksza niz 20 m (Tak/Nie): "),readln(Dl),nl,nl,nl,

        make(Na,Pr,Sk,Pl,Ba,St,Nap,Si,Dl).

/* ---------------------------------------------------------------- */



    make(Na,Pr,Sk,Pl,Ba,St,Nap,Si,Dl) :-
                Na<>"",
                samolot(Na,A,B,C,D,E,F,G,H),
                clearwindow,
                write("Dane o wyszukanym samolocie:    "),nl,nl,
                write("Nazwa:                          "),write(Na),nl,
                write("Predkosc rozwijana:             "),write(A),nl,
                write("Zmienna geometria skrzydel:     "),write(B),nl,
                write("Rodzaj platowca:                "),write(C),nl,
                write("Charakter bazowania:            "),write(D),nl,
                write("Wykonany w technologii STEALTH: "),write(E),nl,
                write("Rodzaj napedu:                  "),write(F),nl,
                write("Liczba silnikow:                "),write(G),nl,
                write("Dlugosc wieksza niz 20 m :      "),write(H),nl,nl,
                write("Wcisnij dowolny klawisz..."),readchar(Z);

                Naz="",proced1(Pr,Pre),proced2(Sk,Skr),
                proced3(Pl,Pla),proced4(Ba,Baz),proced5(St,Ste),
                proced6(Nap,Nape),proced7(Dl,Dlu),
                samolot(N,Pre,Skr,Pla,Baz,Ste,Nape,Sil,Dlu),
                clearwindow,
                write("Dane o wyszukanym samolocie:    "),nl,nl,
                write("Nazwa:                          "),write(N),nl,
                write("Predkosc rozwijana:             "),write(Pre),nl,
                write("Zmienna geometria skrzydel:     "),write(Skr),nl,
                write("Rodzaj platowca:                "),write(Pla),nl,
                write("Charakter bazowania:            "),write(Baz),nl,
                write("Wykonany w technologii STEALTH: "),write(Ste),nl,
                write("Rodzaj napedu:                  "),write(Nape),nl,
                write("Liczba silnikow:                "),write(Sil),nl,
                write("Dlugosc wieksza niz 20 m :      "),write(Dlu),nl,nl,
                write("Wcisnij dowolny klawisz..."),readchar(Z),nl,fail.


    make(Na,Pr,Sk,Pl,Ba,St,Nap,Si,Dl) :- nl.

/* ---------------------------------------------------------------- */
```

```
proced1(Pr,Pre) :- Pr<>"",Pre=Pr;
        Pr="".
proced2(Sk,Skr) :- Sk<>"",Skr=Sk;
        Sk="".
proced3(Pl,Pla) :- Pl<>"",Pla=Pl;
        Pl="".
proced4(Ba,Baz) :- Ba<>"",Baz=Ba;
        Ba="".
proced5(St,Ste) :- St<>"",Ste=St;
        St="".
proced6(Nap,Nape):- Nap<>"",Nape=Nap;
        Nap="".
proced7(Dl,Dlu) :- Dl<>"",Dlu=Dl;
        Dl="".
/*------------------------------------------------------------------ */
czytaj1(L) :- readint(H).
czytaj1(L).
czytaj1(Sil) :- readint(Sil).
czytaj1(Sil).

/* ------------------------------------------------------------------ */

samolot("Harrier",poddzwiekowa,nie,gornoplat,lotniskowce,nie,odrzutowy,1,nie).
samolot("Boeing B-52 Stratofortress",poddzwiekowa,nie,gornoplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,8,tak).
samolot("Boeing 747-400 Jumbo Jet",poddzwiekowa,nie,dolnoplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,4,tak).
samolot("Mirage F-1",ponaddzwiekowa,nie,gornoplat,"bazy ladowe",nie,odrzutowy,1,nie).
samolot("Rafale A",ponaddzwiekowa,nie,srednioplat,"bazy ladowe",nie,odrzutowy,2,nie).
samolot("A-10 Fairchild",poddzwiekowa,nie,dolnoplat,"bazy ladowe",nie,odrzutowy,2,nie).
samolot("F-111",ponaddzwiekowa,tak,gornoplat,"bazy ladowe",nie,odrzutowy,2,tak).
samolot("F-16",ponaddzwiekowa,nie,srednioplat,"bazy ladowe",nie,odrzutowy,1,nie).
samolot("F-14 Tomcat",ponaddzwiekowa,tak,gornoplat,lotniskowce,nie,odrzutowy,2,nie).
samolot("Grumman X-29",ponaddzwiekowa,nie,dolnoplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,1,nie).
samolot("C-130 Hercules",poddzwiekowa,nie,gornoplat,"bazy ladowe",nie,smiglowy,4,tak).
samolot("F-104 Starfighter",ponaddzwiekowa,nie,srednioplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,1,nie).
samolot("SR-71 Blackbird",ponaddzwiekowa,nie,dolnoplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,2,tak).
samolot("Lockheed TR-1",poddzwiekowa,nie,srednioplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,1,nie).
samolot("F-117",poddzwiekowa,nie,dolnoplat,"bazy ladowe",tak,odrzutowy,2,nie).
samolot("F-4 Phantom",ponaddzwiekowa,nie,dolnoplat,lotniskowce,nie,odrzutowy,2,nie).
samolot("F-15 Eagle",ponaddzwiekowa,nie,srednioplat,"bazy ladowe",nie,odrzutowy,2,nie).
samolot("McDonell-Douglas KC-10",poddzwiekowa,nie,dolnoplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,3,nie).
```

```
samolot("F/A-18
Hornet",ponaddzwiekowa,nie,srednioplat,lotniskowce,nie,odrzutowy,2,nie).
samolot("F-5 Tiger",ponaddzwiekowa,nie,dolnoplat,"bazy ladowe",nie,odrzutowy,2,nie).
samolot("F-20                    Tigershark",ponaddzwiekowa,nie,dolnoplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,1,nie).
samolot("B-2",poddzwiekowa,nie,srednioplat,"bazy ladowe",tak,odrzutowy,4,tak).
samolot("Tornado",ponaddzwiekowa,tak,gornoplat,"bazy ladowe",nie,odrzutowy,2,nie).
samolot("Rockwell                    B1-B",ponaddzwiekowa,tak,srednioplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,4,tak).
samolot("Saab                    Grippen",ponaddzwiekowa,nie,srednioplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,1,nie).
samolot("Saab Viggen",ponaddzwiekowa,nie,dolnoplat,"bazy ladowe",nie,odrzutowy,1,nie).
samolot("An-124                    Condor",poddzwiekowa,nie,gornoplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,4,tak).
samolot("MiG-21          Bis          Fishbed",ponaddzwiekowa,nie,srednioplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,1,nie).
samolot("MiG-23                    Flogger",ponaddzwiekowa,tak,gornoplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,1,nie).
samolot("MiG-25                    Foxbat",ponaddzwiekowa,nie,gornoplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,2,tak).
samolot("MiG-27                    Flogger",ponaddzwiekowa,tak,gornoplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,1,nie).
samolot("MiG-29                    Fulcrum",ponaddzwiekowa,nie,srednioplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,2,nie).
samolot("Su-21                    Flagon",ponaddzwiekowa,nie,srednioplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,2,tak).
samolot("Su-24                    Fencer",ponaddzwiekowa,tak,gornoplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,2,tak).
samolot("Su-25                    Frogfoot",poddzwiekowa,nie,gornoplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,2,nie).
samolot("Su-27                    Flanker",ponaddzwiekowa,nie,srednioplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,2,tak).
samolot("Tu-95 Bear",poddzwiekowa,nie,gornoplat,"bazy ladowe",nie,smiglowy,4,tak).
samolot("Tu-26                    Backfire",ponaddzwiekowa,tak,dolnoplat,"bazy
ladowe",nie,odrzutowy,2,tak).
samolot("Jak-38 Forger",poddzwiekowa,nie,srednioplat,lotniskowce,nie,odrzutowy,1,nie).
```

Innym przykładem jest prosty system ekspercki do rozpoznawania czołgów. Wykorzystuje, jak poprzedni, regułową metodę reprezentacji wiedzy oraz odwrotny łańcuch wnioskowania. Cechami czołgu są:

- nazwa typu,

- kraj producenta,

- typ działa,

- kaliber głównego km,

- szerokość czołgu,

- długość czołgu,

- maksymalna prędkość,

- liczba osób załogi.

```
/* */
code=2000
nobreak
nowarnings

DOMAINS
  Dl,Szer,Masa,Km,Speed = real
  Armata,Ilosc          = integer
  Nazwa,Kraj,Country    = string
  dane = dane(string,string,real,real,integer,real,real,real,integer)
  lista=dane*

DATABASE
 /* sprzet (Nazwa) */
    sprzet (string)
 /* czolg  (Nazwa,Kraj) */
  czolg  (string,string)
 /* masa   (Nazwa,Masa) */
  masa   (string,real)
 /* vmax   (Nazwa,Speed) */
  vmax   (string,real)
 /* armata (Nazwa,Armata) */
  armata (string,integer)
 /* karabin(Nazwa,Km) */
  karabin(string,real)
 /* wymiary(Nazwa,Dl,Szer) */
  wymiary(string,real,real)
 /* załoga (Nazwa,Ilo×Ż) */
  zaloga (string,integer)
  tank(dane)
  tank1(dane)

PREDICATES
  wykonanie
```

```
 okno_objasnien
 zbieranie_danych
 /* szukanie(Nazwa,Kraj,Masa,Speed,Armata,Km,Dł,Szer,Ilo×Ż) */
   szukanie(string,string,real,real,integer,real,real,real,integer)
 /* wczytuje liczbŁ ; je×li ENTER to "_" */
 wybor_opcji
 wczytaj(real)
 wczytaj1(integer)
 sprawdzenie(string,string)
 opcja(integer)
 usuwanie_pojazdu
 wpisanie_pojazdu
 /* pisz(N,Country,Masa,Speed,Armata,Km,Dl,Szer,Ilosc)  */
   pisz(string,string,real,real,integer,real,real,real,integer)
 ponowne_wysw_bazy
 wariant(char)
 tsprawdzanie(real,real)
 tsprawdzanie_int(integer,integer)
 korekta(real,real)
 korekta_int(integer,integer)
 /* zmiana(Masa,Speed,Armata,Km,Dl,Szer,Ilosc,M,S,A,Kar,D,Sz,I) */
   zmiana(real,real,integer,real,real,real,integer,
        real,real,integer,real,real,real,integer)
                                                                    /*
do_wypisu(Nazwa,Kraj,Masa,Speed,Armata,Km,Dl,Szer,Ilosc,N,Country,M,S,A,Kar,D,Sz,I
) */
   do_wypisu(string,string,real,real,integer,real,real,real,integer,
          string,string,real,real,integer,real,real,real,integer)
 /* por(Speed,Generacja) */
   por(real,integer)
 litera(string,string)

GOAL
 wykonanie.

CLAUSES
 wykonanie
   :- /* readDevice(keybord),
     writeDevice(screen),*/
     makeWindow(1,7,4,"OKNO GťúWNE",0,0,25,80),
              field_str(2,15,46,"PROSTY  SYSTEM  EKSPERCKI  ROZPOZNAWANIA
CZOťGU."),
     field_str(4,15,46,"      BAZA WIEDZY W POSTACI REGUť.          "),
      field_str(6,15,46,"MECHANIZM WNIOSKOWANIA OPARTY NA ODWROTNYM
"),
     field_str(8,15,46,"        ťĄCUCHU WNIOSKOWANIA            "),
     field_str(10,15,46," SYSTEM ZAIMPLEMENTOWAŁ W JĘZYKU PROLOG.  "),
     field_str(15,15,46,"program napisał : WOJCIECH STECZ          "),
```

```
    field_str(20,15,46,"        << wci×nij dowolny klawisz>>       "),
    cursor(21,1),
    readChar(_),
    clearWindow,
    okno_objasnien.

  okno_objasnien if
          field_str(2,15,48, "W PROGRAMIE MOíNA UZYSKAĽ INFORMACJE O
DOWOLNYM "),
           field_str(3,15,48, "CZOťGU WSPúťCZESNYM PODAJĆC ZNANE NAM
CECHY,np.:"),
    field_str(4,15,48, "- NAZWĖ KRAJU,W KTúRYM POWSTAť                "),
     field_str(5,15,48, "- MASĖ,RODZAJ ARMATY,KALIBER BRONI POKťADOWEJ
"),
    field_str(6,15,48, "- WYMIARY,PRĖDKOśĽ,ILOśĽ ZAťOGI itd.          "),
       field_str(7,15,48, "PARAMETRúW,KTúRYCH NIE ZNAMY NIE PODAJEMY
"),
     field_str(8,15,48, "WYBRANY ZOSTANIE WTEDY ZESTAW CZOťGúW,KTúRE
"),
    field_str(9,15,48, "SPEťNIAJĆ NARZUCONE RYGORY TECHNICZNE          "),
     field_str(10,15,48,"JEśLI CHCEMY UZYSKAĽ DANE OKREśLONEGO CZOťGU
"),
    field_str(11,15,48,"PODAJEMY TYLKO JEGO NAZWĖ                      "),
    field_str(12,15,48,"{inne parametry program zignoruje          } "),
    field_str(13,15,48,"*********************************************"),
    field_str(14,15,48,"      NAZWĖ CZOťGU PODAWAĽ W SPOSúB PEťNY      "),
    field_str(15,15,48,"*********************************************"),
    field_str(20,15,48,"          << wci×nij dowolny klawisz>>       "),
    cursor(21,1),
    readChar(_),
    clearWindow,
    field_str(2,13,55,"*****************************************************"),
    field_str(3,13,55,"*                                                   *"),
    field_str(4,13,55,"*  CZOLGI II i III GENERACJI PAąSTW CAťEGO śWIATA   *"),
    field_str(5,13,55,"*                                                   *"),
    field_str(6,13,55,"*****************************************************"),
    makeWindow(2,32,30,"INFORMACJA",10,25,13,34),
    clearWindow,
    field_str(1,2,30, "CHARAKTER DANYCH WEJśCIOWYCH  "),
    field_str(2,2,30, "         CZOťGU              "),
    field_str(3,2,30, "MASA      - masa bojowa       "),
    field_str(4,2,30, "DťUGOśĽ   - z lufć            "),
    field_str(5,2,30, "SZEROKOśĽ - całkowita         "),
    field_str(6,2,30, "KALIBER   - karabinu głównego "),
    field_str(7,2,30, "ILOśĽ     - liczba osób       "),
    field_str(8,2,30, "ARMATA    - bez PPK           "),
    field_str(9,2,30, "SZYBKOśĽ  - po szosie         "),
    field_str(10,2,30," << wci×nij dowolny klawisz >>"),
```

```
    cursor(10,1),
    readChar(_),
    shiftWindow(1),
    clearWindow,
    shiftWindow(2),
    removeWindow,
    shiftWindow(1),
    wybor_opcji.

wybor_opcji if
    clearWindow,
    field_str(5,5,50,"Podaj numer opcji do wykonania :"),
    field_str(7,5,50, " - wstawianie do bazy      (1) "),
    field_str(8,5,50, " - usuwanie z bazy         (2) "),
    field_str(9,5,50, " - szukanie czołgu         (3) "),
    field_str(10,5,50," - pokazanie całego zbioru (4) "),
    field_str(15,5,50," <<ENTER>> <<ESC>> - wyj×cie   "),
    field_str(17,5,65, " Aby wstawiŹ do bazy trzeba znaŹ wszystkie dane liczbowe"),
    field_str(19,5,55, " Aby co× usunćŹ trzeba znaŹ tylko nazwĹ czołgu "),
    cursor(12,25),readInt(Wybor),
    clearWindow,
    opcja(Wybor),
    wybor_opcji.

wybor_opcji.

    opcja(1) if wpisanie_pojazdu.
    opcja(2) if usuwanie_pojazdu.
    opcja(3) if zbieranie_danych.
    opcja(3) if ponowne_wysw_bazy.
    opcja(4) if szukanie(_,_,_,_,_,_,_,_).
    opcja(_) if beep,clearWindow.

/*-------------------------------------------------------------------------*/
  korekta(Drugi,Pierwszy) if Pierwszy=0.
  korekta(Drugi,Pierwszy) if Pierwszy<>0,Drugi=Pierwszy.

  korekta_int(Drugi,Pierwszy) if Pierwszy=0.
  korekta_int(Drugi,Pierwszy) if Pierwszy<>0,Drugi=Pierwszy.

  wariant(Key) if Key='d',
     cursor(10,10),write("          ******** KONIEC LISTY ********"),
     beep,clearWindow,
     tank1(dane(Nazwa,Kraj,Masa,Speed,Armata,Km,Dl,Szer,Ilosc)),
     N=Nazwa,
     K=Kraj,
     korekta(M,Masa),
     korekta(S,Speed),
```

```
  korekta_int(A,Armata),
  korekta(Kar,Km),
  korekta(D,Dl),
  korekta(Sz,Szer),
  korekta_int(I,Ilosc),
  retract(tank1(dane(Nazwa,Kraj,Masa,Speed,Armata,Km,Dl,Szer,Ilosc))),
  szukanie(N,K,M,S,A,Kar,D,Sz,I).

wariant(Key) if Key<>'d',
  tank1(dane(Nazwa,Kraj,Masa,Speed,Armata,Km,Dl,Szer,Ilosc)),
  retract(tank1(dane(Nazwa,Kraj,Masa,Speed,Armata,Km,Dl,Szer,Ilosc))),!.

ponowne_wysw_bazy if
  clearWindow,
  field_str(10,10,40,"wci×nij << d >> w celu ponownego obejrzenia listy"),
  readChar(Z),
  clearWindow,
  wariant(Z),!.

wpisanie_pojazdu if
  clearWindow,
  field_str(5,5,36, " Nazwa czołgu (np.:Leopard2-IP)   >>"),
  cursor(5,43),
  readln(Nazwa),
  field_str(6,5,66, " Kraj produkcji (np.:Polska)      >>"),
  cursor(6,43),
  readln(Kraj),
  field_str(7,5,36, " Masa czołgu w tonach (np.:12.2)  >>"),
  cursor(7,43),
  readReal(Masa),
  field_str(8,5,36, " Armata czołgu w [mm] (np.:105)   >>"),
  cursor(8,43),
  readInt(Armata),
  field_str(9,5,36, " Kaliber karabinu w [mm] (np.:20) >>"),
  cursor(9,43),
  readReal(Km),
  field_str(10,5,36," Długo×Ź z lufć w [m] (np.:2.3)   >>"),
  cursor(10,43),
  readReal(Dl),
  field_str(11,5,36," Szeroko×Ź kadłuba w [m] (np.:2.2)>>"),
  cursor(11,43),
  readReal(Szer),
  field_str(12,5,36," Załoga  (ilo×Ź)                  >>"),
  cursor(12,43),
  readInt(Ilosc),
  field_str(13,5,36," Szybko×Ź w [km/h]  (np.:56)      >>"),
  cursor(13,43),
  readReal(Speed),
```

```
  clearWindow,
  Nazwa<>" ",
  assert(sprzet(Nazwa)),
  assert(czolg(Nazwa,Kraj)),
  assert(masa(Nazwa,Masa)),
  assert(armata(Nazwa,Armata)),
  assert(karabin(Nazwa,Km)),
  assert(wymiary(Nazwa,Dl,Szer)),
  assert(vmax(Nazwa,Speed)),
  assert(zaloga(Nazwa,Ilosc)).

usuwanie_pojazdu if
  clearWindow,
  field_str(5,5,40,"Podaj nazwĹ pojazdu do skasowania >> "),
  cursor(5,50),
  readln(Nazwa),
  retract(sprzet(Nazwa)),
  retract(czolg(Nazwa,_)),
  retract(masa(Nazwa,_)),
  retract(vmax(Nazwa,_)),
  retract(armata(Nazwa,_)),
  retract(karabin(Nazwa,_)),
  retract(wymiary(Nazwa,_,_)),
  retract(zaloga(Nazwa,_)),!;
  field_str(10,10,30,"BRAK DANYCH O POJEáDZIE !!!").
/*-------------------------------------------------------------------*/
  tsprawdzanie(Pierwszy,Drugi) if free(Pierwszy),Drugi=0,!.
  tsprawdzanie(Pierwszy,Drugi) if bound(Pierwszy),Drugi=Pierwszy,!.

  tsprawdzanie_int(Pierwszy,Drugi) if free(Pierwszy),Drugi=0,!.
  tsprawdzanie_int(Pierwszy,Drugi) if bound(Pierwszy),Drugi=Pierwszy,!.

  zmiana(Masa,Speed,Armata,Km,Dl,Szer,Ilosc,M,S,A,Kar,D,Sz,I) if
    tsprawdzanie(Masa,M),
    tsprawdzanie(Speed,S),
    tsprawdzanie_int(Armata,A),
    tsprawdzanie(Km,Kar),
    tsprawdzanie(Dl,D),
    tsprawdzanie(Szer,Sz),
    tsprawdzanie_int(Ilosc,I).
/*-------------------------------------------------------------------*/
  litera(NP,NK) if
   NP="",
   NK=NP.

  litera(NP,NK) if
   NP<>"",
   frontChar(NP,G,O),
```

```
  G>'z',NK=NP.

litera(NP,NK) if
  NP<>"",
  frontChar(NP,G,O),
  G<'a',NK=NP.

litera(NP,NK) if
  NP<>"",
  frontChar(NP,G,O),
  G>='a',G<='z',
  str_char(GG,G),
  upper_lower(GGD,GG),
  concat(GGD,O,NK).

/*-------------------------------------------------------------------*/
zbieranie_danych if
      clearWindow,
      field_str(2,5,50, " { Gdy nie znasz parametru,wci×nij ENTER } "),
      field_str(3,5,50, " { format liczby rzeczywistej ,np.: 2.2  } "),
      field_str(5,5,36, " Nazwa czołgu (np.:Leopard2-IP)  >>"),
      cursor(5,43),
      readln(Nazwa),!,
      litera(Nazwa,Naz),
      field_str(6,5,66, " Kraj produkcji (np.:Polska)     >>"),
      cursor(6,43),
      readln(Kraj),!,
      litera(Kraj,Kraina),
      field_str(7,5,36, " Masa czołgu w tonach (np.:12.2)  >>"),
      cursor(7,43),
      wczytaj(Masa),!,                    /* readReal(Masa) */
      field_str(8,5,36, " Armata czołgu w [mm] (np.:105)  >>"),
      cursor(8,43),
      wczytaj1(Armata),!,                  /* readInt(Armata) */
      field_str(9,5,36, " Kaliber karabinu w [mm] (np.:20) >>"),
      cursor(9,43),
      wczytaj(Km),!,                      /* readReal(Km) */
      field_str(10,5,36," Dlugosc z lufć w [m] (np.:2.3)  >>"),
      cursor(10,43),
      wczytaj(Dl),!,                     /* readReal(Dl) */
      field_str(11,5,36," Szeroko×Ź kadłuba w [m] (np.:2.2)>>"),
      cursor(11,43),
      wczytaj(Szer),!,                    /* readReal(Szer) */
      field_str(12,5,36," Załoga  (ilo×Ź)              >>"),
      cursor(12,43),
      wczytaj1(Ilosc),!,                   /* readInt(Ilosc) */
      field_str(13,5,36," Szybko×Ź w [km/h]  (np.:56)     >>"),
      cursor(13,43),
```

```
        wczytaj(Speed),!,                       /* readReal(Speed) */
        clearWindow,
        zmiana(Masa,Speed,Armata,Km,Dl,Szer,Ilosc,M,S,A,Kar,D,Sz,I),
        assert(tank1(dane(Naz,Kraina,M,S,A,Kar,D,Sz,I))),
        szukanie(Naz,Kraina,Masa,Speed,Armata,Km,Dl,Szer,Ilosc),!.
/*-------------------------------------------------------------------*/

wczytaj(W)  if readReal(W).
wczytaj(W).
wczytaj1(C) if readInt(C).
wczytaj1(C).

por(Speed,Generacja) :- Speed>=70,GENERACJA=3.
por(Speed,Generacja) :- Speed<70,GENERACJA=2.
por(Speed,Generacja) :- Speed<50,GENERACJA=1.

  pisz(N,Country,Masa,Speed,Armata,Km,Dl,Szer,Ilosc) if
        clearWindow,
        field_str(3,1,12,"NAZWA CZOt'GU"),
        field_str(6,1,12,N),!,
        field_str(3,14,4,"KRAJ"),
        field_str(6,14,10,Country),!,
        field_str(3,24,4,"MASA"),
        cursor(6,24),write(Masa),!,
        field_str(3,30,8,"PRÉDKOśĽ"),
        cursor(6,30),write(Speed),!,
        field_str(3,40,6,"ARMATA"),!,
        cursor(6,40),write(Armata),!,
        field_str(3,48,10,"KALIBER KM"),
        cursor(6,48),write(Km),!,
        field_str(3,60,7,"WYMIARY"),
        str_real(D,Dl),str_real(S,Szer),!,
        cursor(6,60),field_str(6,60,4,D),
        cursor(6,65),field_str(6,65,3,S),
        field_str(3,69,6,"ZAt'OGA"),
        cursor(6,70),write(Ilosc),
        por(Speed,Generacja),
        field_str(10,10,5,"CZOt'G"),field_str(10,16,10,N),
        field_str(10,27,3,"-> "),cursor(10,31),
        write(GENERACJA),field_str(10,34,3,"GENERACJA"),
        field_str(15,25,30," << wcisnij klawisz >> "),
        cursor(20,20),readChar(_),
        clearWindow,!.

/*-------------------------------------------------------------------*/

do_wypisu(Nazwa,Kraj,Masa,Speed,Armata,Km,Dl,Szer,Ilosc,N,Country,M,S,A,Kar,D,Sz,I
) if
```

```
        Masa=M,
        Speed=S,
        Armata=A,
        Km=Kar,Dl=D,Szer=Sz,Ilosc=I,
        sprawdzenie(Kraj,K),
        K=Country,
        pisz(N,Country,M,S,A,Kar,D,Sz,I).


szukanie(Nazwa,Kraj,Masa,Speed,Armata,Km,Dl,Szer,Ilosc) if
    bound(Nazwa),
    Nazwa<>"",
    sprzet(Nazwa),
    czolg(Nazwa,Country),
    masa(Nazwa,Weight),
    vmax(Nazwa,Velocity),
    armata(Nazwa,Barrel),
    karabin(Nazwa,Gun),
    wymiary(Nazwa,Length,Width),
    zaloga(Nazwa,Quantity),
    field_str(1,1,12,"NAZWA CZOt'GU"),
    field_str(3,1,12,Nazwa),
    field_str(1,14,4,"KRAJ"),
    field_str(3,14,10,Country),
    field_str(1,24,4,"MASA"),
    cursor(3,24),write(Weight),
    field_str(1,30,8,"PRĘDKOśĽ"),
    cursor(3,30),write(Velocity),
    field_str(1,40,6,"ARMATA"),
    cursor(3,40),write(Barrel),
    field_str(1,48,10,"KALIBER KM"),
    cursor(3,48),write(Gun),
    field_str(1,60,7,"WYMIARY"),
    cursor(3,60),write(Length),
    cursor(3,65),write(Width),
    field_str(1,69,6,"ZAt'OGA"),
    cursor(3,70),write(Quantity),
    field_str(10,25,30," << wcisnij klawisz >> "),
    cursor(20,1),
    readChar(_),!,fail.

szukanie(Nazwa,Kraj,Masa,Speed,Armata,Km,Dl,Szer,Ilosc) if
    clearWindow,
    sprzet(N),
    czolg(N,Country),
    masa(N,M),
    vmax(N,S),
    armata(N,A),
```

```
        karabin(N,Kar),
        wymiary(N,D,Sz),
        zaloga(N,I),

do_wypisu(Nazwa,Kraj,Masa,Speed,Armata,Km,Dl,Szer,Ilosc,N,Country,M,S,A,Kar,D,Sz,I
),
        nl,fail.

    szukanie(N,_,_,_,_,_,_,_,_) if
        clearWindow,
        free(N),
        sprzet(N),
        czolg(N,Country),
        masa(N,Masa),
        vmax(N,Speed),
        armata(N,Armata),
        karabin(N,Km),
        wymiary(N,Dl,Szer),
        zaloga(N,Ilosc),
        pisz(N,Country,Masa,Speed,Armata,Km,Dl,Szer,Ilosc),
        nl,fail.

     sprawdzenie(K,Country) :- bound(K),K<>"" , Country=K.
     sprawdzenie(K,Country) :- bound(K),K="".

/*  ------------------------ BAZA DANYCH PROGRAMU ------------------- */
sprzet("Chieftain").
sprzet("Leopard").
sprzet("Amx-63").
sprzet("M61A1").
sprzet("S").
sprzet("P61").
sprzet("61").
sprzet("XM803").
sprzet("T-55").
sprzet("PT-76B").
sprzet("FRG").
sprzet("Leopard2-AV").
sprzet("Leopard2-II").
sprzet("M1A2").
sprzet("Leclerc").
sprzet("Challenger").
sprzet("T-72").
sprzet("T-59").
sprzet("T-80").
sprzet("Osorio").
sprzet("UDES-XX20").
sprzet("UDES-11").
```

```
sprzet("Stridsvagn2000").
sprzet("DFSV").
sprzet("Strv-103").
sprzet("Leopard2-IP").
sprzet("Arjun").
sprzet("Leopard90").
sprzet("Abrams").
sprzet("T-80DZ").
sprzet("T-80BW").
sprzet("T-80UD").
sprzet("T-90-II").
sprzet("Challenger2").
sprzet("T-88").
sprzet("Ariete").
sprzet("Vickers").
sprzet("Merkava").
sprzet("MerkavaMk2").
sprzet("MerkavaMk3").

czolg("Chieftain","Anglia").
czolg("Leopard","Niemcy").
czolg("Amx-63","Francja").
czolg("M61A1","USA").
czolg("S","Szwecja").
czolg("P61","Szwajcaria").
czolg("61","Japonia").
czolg("XM803","USA").
czolg("T-55","Rosja").
czolg("PT-76B","Rosja").
czolg("FRG","Niemcy").
czolg("Leopard2-AV","Niemcy").
czolg("Leopard2-II","Niemcy").
czolg("M1A2","USA").
czolg("Leclerc","Francja").
czolg("Challenger","Anglia").
czolg("T-72","Rosja").
czolg("T-59","Irak").
czolg("T-80","Rosja").
czolg("Osorio","Brazylia").
czolg("UDES-XX20","Szwecja").
czolg("UDES-11","Szwecja").
czolg("Stridsvagn2000","Szwecja").
czolg("DFSV","Szwecja").
czolg("Strv-103","Szwecja").
czolg("Leopard2-IP","Niemcy").
czolg("Arjun","Indie").
czolg("Leopard90","Niemcy").
czolg("Abrams","USA").
```

```
czolg("T-80DZ","Rosja").
czolg("T-80BW","Rosja").
czolg("T-80UD","Rosja").
czolg("T-90-II","Chiny").
czolg("Challenger2","Anglia").
czolg("T-88","Korea").
czolg("Ariete","Wlochy").
czolg("Vickers","Anglia").
czolg("Merkava","Izrael").
czolg("MerkavaMk2","Izrael").
czolg("MerkavaMk3","Izrael").

masa("Chieftain",52).
masa("Leopard",39.6).
masa("Amx-63",36).
masa("M61A1",48).
masa("S",37).
masa("P61",36).
masa("61",35).
masa("XM803",50).
masa("T-55",37).
masa("PT-76B",14.2).
masa("FRG",25).
masa("Leopard2-AV",55).
masa("Leopard2-II",55.1).
masa("M1A2",57.1).
masa("Leclerc",54.5).
masa("Challenger",60).
masa("T-72",41.8).
masa("T-59",43).
masa("T-80",40.5).
masa("Osorio",43.7).
masa("UDES-XX20",32.5).
masa("UDES-11",34.5).
masa("Stridsvagn2000",58).
masa("DFSV",20).
masa("Strv-103",54).
masa("Leopard2-IP",55.2).
masa("Arjun",55).
masa("Leopard90",55).
masa("Abrams",54.5).
masa("T-80DZ",43).
masa("T-80BW",40.5).
masa("T-80UD",43).
masa("T-90-II",43).
masa("Challenger2",61).
masa("T-88",55).
masa("Ariete",48).
```

```
masa("Vickers",52.4).
masa("Merkava",58).
masa("MerkavaMk2",58).
masa("MerkavaMk3",59).

vmax("Chieftain",41).
vmax("Leopard",64).
vmax("Amx-63",65).
vmax("M61A1",48).
vmax("S",59.5).
vmax("P61",50).
vmax("61",45).
vmax("XM803",72).
vmax("T-55",50).
vmax("PT-76B",44).
vmax("FRG",70).
vmax("Leopard2-AV",70).
vmax("Leopard2-II",72).
vmax("M1A2",72.4).
vmax("Leclerc",71).
vmax("Challenger",56).
vmax("T-72",60).
vmax("T-59",54).
vmax("T-80",75).
vmax("Osorio",70).
vmax("UDES-XX20",70).
vmax("UDES-11",65.7).
vmax("Stridsvagn2000",70).
vmax("DFSV",67).
vmax("Strv-103",68.5).
vmax("Leopard2-IP",72).
vmax("Arjun",75).
vmax("Leopard90",80).
vmax("Abrams",68).
vmax("T-80DZ",80).
vmax("T-80BW",85).
vmax("T-80UD",90).
vmax("T-90-II",90).
vmax("Challenger2",56).
vmax("T-88",65).
vmax("Ariete",65).
vmax("Vickers",80).
vmax("Merkava",46).
vmax("MerkavaMk2",50).
vmax("MerkavaMk3",55).

armata("Chieftain",120).
armata("Leopard",105).
```

```
armata("Amx-63",105).
armata("M61A1",105).
armata("S",105).
armata("P61",105).
armata("61",90).
armata("XM803",152).
armata("T-55",100).
armata("PT-76B",76).
armata("FRG",90).
armata("Leopard2-AV",125).
armata("Leopard2-II",125).
armata("M1A2",140).
armata("Leclerc",105).
armata("Challenger",105).
armata("T-72",125).
armata("T-59",100).
armata("T-80",125).
armata("Osorio",120).
armata("UDES-XX20",120).
armata("UDES-11",120).
armata("Stridsvagn2000",140).
armata("DFSV",105).
armata("Strv-103",140).
armata("Leopard2-IP",125).
armata("Arjun",125).
armata("Leopard90",125).
armata("Abrams",105).
armata("T-80DZ",125).
armata("T-80BW",125).
armata("T-80UD",125).
armata("T-90-II",125).
armata("Challenger2",105).
armata("T-88",105).
armata("Ariete",120).
armata("Vickers",120).
armata("Merkava",105).
armata("MerkavaMk2",105).
armata("MerkavaMk3",120).

karabin("Chieftain",7.62).
karabin("Leopard",7.62).
karabin("Amx-63",7.50).
karabin("M61A1",7.62).
karabin("S",7.62).
karabin("P61",7.62).
karabin("61",20).
karabin("XM803",7.62).
karabin("T-55",7.62).
```

```
karabin("PT-76B",7.62).
karabin("FRG",7.62).
karabin("Leopard2-AV",7.62).
karabin("Leopard2-II",7.62).
karabin("M1A2",7.62).
karabin("Leclerc",7.62).
karabin("Challenger",7.62).
karabin("T-72",7.62).
karabin("T-59",7.62).
karabin("T-80",7.62).
karabin("Osorio",12.7).
karabin("UDES-XX20",7.62).
karabin("UDES-11",7.62).
karabin("Stridsvagn2000",7.62).
karabin("DFSV",7.62).
karabin("Strv-103",7.62).
karabin("Leopard2-IP",7.62).
karabin("Arjun",7.62).
karabin("Leopard90",7.62).
karabin("Abrams",7.62).
karabin("T-80DZ",7.62).
karabin("T-80BW",7.62).
karabin("T-80UD",7.62).
karabin("T-90-II",7.62).
karabin("Challenger2",7.62).
karabin("T-88",7.62).
karabin("Ariete",7.62).
karabin("Vickers",7.62).
karabin("Merkava",7.62).
karabin("MerkavaMk2",7.62).
karabin("MerkavaMk3",7.62).

wymiary("Chieftain",10.6,3.4).
wymiary("Leopard",9.5,3.2).
wymiary("Amx-63",9.4,3.1).
wymiary("M61A1",9.3,3.6).
wymiary("S",9.3,3.3).
wymiary("P61",9.2,3.0).
wymiary("61",8.1,2.9).
wymiary("XM803",8,3).
wymiary("T-55",6.2,3.2).
wymiary("PT-76B",6.9,3.1).
wymiary("FRG",7.2,3.2).
wymiary("Leopard2-AV",9.6,3.7).
wymiary("Leopard2-II",9.6,3.5).
wymiary("M1A2",9.8,3.6).
wymiary("Leclerc",6.8,3.7).
wymiary("Challenger",8.3,3.4).
```

```
wymiary("T-72",9.2,3.6).
wymiary("T-59",6.2,3).
wymiary("T-80",9.9,3.5).
wymiary("Osorio",10.1,3.3).
wymiary("UDES-XX20",15.5,3.4).
wymiary("UDES-11",14.5,3.5).
wymiary("Stridsvagn2000",9.6,3.6).
wymiary("DFSV",7.8,3.4).
wymiary("Strv-103",9.8,3.7).
wymiary("Leopard2-IP",9.67,3.7).
wymiary("Arjun",9.7,3.6).
wymiary("Leopard90",9.67,3.7).
wymiary("Abrams",7.9,3.6).
wymiary("T-80DZ",9.9,3.5).
wymiary("T-80BW",9.9,3.5).
wymiary("T-80UD",9.9,3.4).
wymiary("T-90-II",9.9,3.5).
wymiary("Challenger2",8.3,3.5).
wymiary("T-88",9.7,3.6).
wymiary("Ariete",9.5,7.6).
wymiary("Vickers",10.9,3.4).
wymiary("Merkava",8.6,3.7).
wymiary("MerkavaMk2",8.7,3.7).
wymiary("MerkavaMk3",8.8,3.7).

zaloga("Chieftain",4).
zaloga("Leopard",4).
zaloga("Amx-63",4).
zaloga("M61A1",4).
zaloga("S",3).
zaloga("Pol",4).
zaloga("61",4).
zaloga("XM803",3).
zaloga("T-55",4).
zaloga("PT-76B",3).
zaloga("FRG",4).
zaloga("Leopard2-AV",4).
zaloga("Leopard2-II",4).
zaloga("M1A2",3).
zaloga("Leclerc",3).
zaloga("Challenger",4).
zaloga("T-72",3).
zaloga("T-59",4).
zaloga("T-80",3).
zaloga("Osorio",4).
zaloga("UDES-XX20",2).
zaloga("UDES-11",2).
zaloga("Stridsvagn2000",2).
```

```
zaloga("DFSV",2).
zaloga("Strv-103",2).
zaloga("Leopard2-IP",4).
zaloga("Arjun",3).
zaloga("Leopard90",4).
zaloga("Abrams",4).
zaloga("T-80DZ",3).
zaloga("T-80BW",3).
zaloga("T-80UD",3).
zaloga("T-90-II",3).
zaloga("Challenger2",4).
zaloga("T-88",3).
zaloga("Ariete",4).
zaloga("Vickers",4).
zaloga("Merkava",4).
zaloga("MerkavaMk2",4).
zaloga("MerkavaMk3",4).
```

Trzecim przykładem systemu eksperckiego jest system do rozpoznawania okrętów nawodnych. Pod uwagę brane są następujące cechy okrętów:

- bandera (polska, niemiecka, duńska, szwedzka, rosyjska, litewska, łotewska),

- typ (krążownik, korweta, trałowiec, kuter rakietowy, kuter torpedowy),

- typ podstawowego uzbrojenia (rakiety, torpedy, artyleria lufowa, brak),

- wymiary (długość, szerokość),

- prędkość maksymalna.

```
/*
+-------------------------------------------------------------+
|                                                             |
|                    SYSTEMY EKSPERCKIE                       |
|                                                             |
|                 System rozpoznajacy okrety.                 |
|                                                             |
|-------------------------------------------------------------|
|                                                             |
|    09.01.95                        Piotr Sudzik             |
|                                                             |
```

```
+-----------------------------------------------------------------+
*/

DOMAINS

  nazw,band,typ,uzbr=string
  dlug,szer,pred=integer

/* ------------------------------------------------------------- */

DATABASE

  okret(string,string,string,string,integer,integer,integer)

/* ------------------------------------------------------------- */

PREDICATES

  wykonanieProgramu
  wykonanie(string,string,string,string,integer,integer,integer)
  opcja(integer)
  czytaj1(integer)
  wyswietl
  szukaj
  proc1(string,string)
  proc2(string,string)
  proc3(string,string)

/* ------------------------------------------------------------- */

GOAL

  wykonanieProgramu.

/* ------------------------------------------------------------- */

CLAUSES

  wykonanieProgramu
    :- clearwindow,
       nl,

write("_____"),nl,
```

```
      write("¦                                                    ¦"),nl,
      write("¦        ***** SYSTEM ROZPOZNAWANIA OKRETOW *****    ¦"),nl,
      write("¦                                                    ¦"),nl,

write("_____________________________________________________________"),nl,
      write("¦                                                    ¦"),nl,
      write("¦                                                    ¦"),nl,
      write("¦                                                    ¦"),nl,
      write("¦      1 - Wyswietlenie stanu bazy danych            ¦"),nl,
      write("¦      2 - Dopisanie nowego okretu do bazy           ¦"),nl,
      write("¦      3 - Usuniecie okretu z bazy                   ¦"),nl,
      write("¦      4 - Szukanie okretu                           ¦"),nl,
      write("¦    Esc - Koniec pracy                              ¦"),nl,
      write("¦        Podaj swoj wybor:                           ¦"),nl,
      write("¦                                                    ¦"),nl,
      write("+----------------------------------------------------+"),nl,
      readint(I),
      opcja(I),
      wykonanieProgramu.
  wykonanieProgramu.

/* ---------------------------------------------------------- */

  opcja(1) :- wyswietl.
  opcja(2) :- clearwindow,
          write("Dopisywanie nowego okretu do bazy:"),nl,nl,
          write("  Podaj nazwe okretu: "),readln(Nazw),
             write("  Podaj bandere okretu (polska,niemcy,dania,szwecja,rosja,litwa,lotwa):
"),readln(Band),
                                                  write("      Podaj typ okretu
(krazownik,korweta,tralowiec,kutrakietowy,kuttorpedowy): "),readln(Typ),nl,
                    write("  Podaj podstawowe uzbrojenie (rakiety,artyleria,torpedy,brak):
"),readln(Uzbr),nl,
          write("  Dane - dlugosc  : "),readint(Dlug),
          write("       - szerokosc: "),readint(Szer),
          write("       - predkosc : "),readint(Pred),
          assert(okret(Nazw,Band,Typ,Uzbr,Dlug,Szer,Pred)).
  opcja(3) :- clearwindow,
          write("Usuwanie danych o okrecie z bazy: "),nl,nl,
          write("  Podaj nazwe okretu: "),readln(Nazw),
          retract(okret(Nazw,_,_,_,_,_,_)),! ;
          write("Brak danych o tym okrecie").
  opcja(4) :- szukaj.
  opcja(_) :- write("Niewlasciwy wybor").

/* ---------------------------------------------------------- */

  wyswietl :- okret(Nazw,Band,Typ,Uzbr,Dlug,Szer,Pred),
```

```
        clearwindow,
        nl,
        write("        Okrety zapisane w bazie danych: "),nl,nl,
        write(" Nazwa        Bandera Typ          Uzbrojenie    Dlug  Szer  Pred"),
        cursor(5,1),write(Nazw),
        cursor(5,16),write(Band),
        cursor(5,24),write(Typ),
        cursor(5,40),write(Uzbr),
        cursor(5,56),write(Dlug),
        cursor(5,62),write(Szer),
        cursor(5,68),write(Pred),
        readchar(Z),nl,fail.
wyswietl :- nl.

/* ------------------------------------------------------------ */

szukaj :- clearwindow,
        write("Szukanie okretu: "),nl,nl,
        write("  Podaj znane dane: "),nl,
        write("  Nazwa okretu: "),readln(Na),
        write("  Bandera     : "),readln(Ba),
        write("  Typ         : "),readln(Ty),
        write("  Uzbrojenie  : "),readln(Uz),
        write("  Dlugosc     : "),czytaj1(Dl),
        write("  Szerokosc   : "),czytaj1(Sz),
        write("  Predkosc    : "),czytaj1(Pr),
        wykonanie(Na,Ba,Ty,Uz,Dl,Sz,Pr).

/* ------------------------------------------------------------ */

    czytaj1(X) :- readint(X).
    czytaj1(X).

/* ------------------------------------------------------------ */

     wykonanie(Na,Ba,Ty,Uz,Dl,Sz,Pr) :-
                Na<>"",
                okret(Na,X1,X2,X3,X4,X5,X6),
                clearwindow,
                write("Dane o wyszukanym okrecie:"),nl,nl,
                write("  Nazwa     : "),write(Na),nl,
                write("  Bandera   : "),write(X1),nl,
                write("  Typ       : "),write(X2),nl,
                write("  Uzbrojenie: "),write(X3),nl,
                write("  Dlugosc   : "),write(X4),nl,
                write("  Szerokosc : "),write(X5),nl,
                write("  Predkosc  : "),write(X6),nl,nl,
                write("    Wcisnij dowolny klawisz..."),
```

```
                readchar(Z);

                Na="",proc1(Ba,B),proc2(Ty,T),proc3(Uz,U),
                okret(N,B,T,U,Dl,Sz,Pr),
                clearwindow,
                write("Dane o wyszukanym okrecie:"),nl,nl,
                write("  Nazwa     : "),write(N),nl,
                write("  Bandera   : "),write(B),nl,
                write("  Typ       : "),write(T),nl,
                write("  Uzbrojenie: "),write(U),nl,
                write("  Dlugosc   : "),write(Dl),nl,
                write("  Szerokosc : "),write(Sz),nl,
                write("  Predkosc  : "),write(Pr),nl,nl,
                write("    Wcisnij dowolny klawisz..."),
                readchar(Z),nl,nl,fail.

    wykonanie(Na,Ba,Ty,Uz,Dl,Sz,Pr) :- nl.

/* ------------------------------------------------------------ */

    proc1(Ba,B) :- Ba<>"",B=Ba;
                Ba="".
    proc2(Ty,T) :- Ty<>"",T=Ty;
                Ty="".
    proc3(Uz,U) :- Uz<>"",U=Uz;
                Uz="".

/* ------------------------------------------------------------ */

okret(warszawa,polska,niszczyciel,rakiety,130,23,35).
okret(piorun,polska,kutrakietowy,rakiety,48,12,43).
okret(sniardwy,polska,tralowiec,brak,39,9,15).
okret(szerszen,niemcy,kuttorpedowy,torpedy,19,6,40).
okret(smialyj,rosja,krazownik,artyleria,178,29,22).
okret(smyge,szwecja,korweta,rakiety,55,14,28).
okret(christiansen,dania,korweta,artyleria,62,15,26).
okret(ryga,lotwa,kuttorpedowy,torpedy,23,8,35).
okret(wilno,litwa,kutrakietowy,rakiety,32,10,36).
okret(groznyj,rosja,niszczyciel,rakiety,148,26,31).
okret(peczenga,rosja,korweta,rakiety,74,20,37).
okret(kwassen,niemcy,niszczyciel,rakiety,115,22,33).
```

BIBLIOTEKA GŁÓWNA - ARCHIWUM
Akademii Obrony Narodowej
54858