

Univerzita Karlova v Praze

Filozofická fakulta

Ústav informačních studií a knihovnictví

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Ladislav Stahl

Expertní systémy ve vojenství

Expert systems in the military

Praha 2012

Vedoucí práce: Doc. RNDr. Jiří Ivánek, CSc.

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, Doc. RNDr. Jiřímu Ivánkovi, CSc., za cenné rady, podněty a připomínky.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem řádně citoval všechny použité prameny a literaturu a že práce nebyla využita v rámci jiného vysokoškolského studia či získání jiného nebo stejného titulu.

V Praze, 20. dubna 2012

.....
podpis autora

Identifikační záznam

STAHL, Ladislav. *Expertní systémy ve vojenství*. Praha, 2012. 100s. Diplomová práce (Mgr). Univerzita Karlova, Filozofická fakulta, Ústav informačních studií a knihovnictví. Vedoucí diplomové práce Doc. RNDr. Jiří Ivánek, CSc.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou expertních systémů ve vojenství. V první části práce je v obecné rovině uvedeno definiční vymezení expertních systémů jako celku. Jsou popsány oblasti jako tvorba, typy, charakteristické rysy, výhody a nevýhody expertních systémů, získávání znalostí či historie expertních systémů.

Další část práce se zabývá jednotlivými aplikacemi expertních systémů ve vojenské a bezpečnostní oblasti. Jsou uvedeny aplikace použití v prostředí pozemních sil (systémy ADRIES, ESROC, KBGIS, PRIDE, TED), vzdušných sil (systémy AIRID, LES, TATR), námořních sil (systémy BATTLE, SIAMES), vševojskových sil (systémy AI-EOD, CMES, GTEX, MBEES, MCTA, SEAT SEC) a bezpečnostní oblasti (systémy EPS-APES, Vyhodnocování Dokumentů, FRIEND – FOE DETECTION / FIRE DECISION). V závěru práce jsou rozsáhleji popsány systémy ADRIES, BATTLE, KBGIS a FRIEND – FOE DETECTION / FIRE DECISION.

Abstract

This master thesis deals with the topic of expert systems in the military. In the first part, expert systems are described in general focusing on the theoretical aspects. The creation, types, structure, architecture, advantages, disadvantages and history of expert systems and knowledge acquisition are described.

The next part of the thesis deals with the specific military and security (defence) applications of expert systems. There are descriptions of applications from Ground forces (ADRIES, ESROC, KBGIS, PRIDE, TED systems), Air forces (AIRID, LES, TATR), NAVY (systems BATTLE, SIAMES systems), Joint forces (AI-EOD, CMES, GTEX, MBEES, MCTA, SEAT SEC systems) and security areas (EPS-APES, DOC - EXPLOIT, FRIEND – FOE / FIRE DECISION systems). A more detailed description of ADRIES, BATTLE, KBGIS a FRIEND – FOE DETECTION / FIRE DECISION expert systems is included in the final part of the thesis.

Klíčová slova

expertní systém, znalostní systém, tvorba expertních systémů, typy expertních systémů, struktura expertních systémů, výhody a nevýhody expertních systémů, získávání znalostí, historie expertních systémů, vojenské aplikace, bezpečnostní aplikace, obranné aplikace, vojenství, armáda, pozemní síly, vzdušné síly, námořní síly, vševojskové síly, rozpoznávání letounů, adries, esroc, kbgis, pride, ted, airid, les, tatr, battle, siames, ai-eod, cmes, gtex, mbees, mcta, seat sec, eps-apes, vyhodnocování dokumentů, identifikace vlastní cizí, střelecký index.

Keywords

expert system, knowledge based system, creation of expert systems, types of expert systems, structure and architecture of expert systems, advantages and disadvantages of expert systems, knowledge acquisition, history of expert systems, military application, security application, defence application, military, armed forces, army, air force, navy, joint forces, aircraft recognition, adries, esroc, kbgis, pride, ted, airid, les, tatr, battle, siames, ai-eod, cmes, gtex, mbees, mcta, seat sec, eps-apes, exploitation of document, friend – foe, fire decision index.

Obsah

PŘEDMLUVA	9
1 ÚVOD	10
2 DEFINICE A STRUKTURA EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ.....	11
2.1 Definiční vymezení.....	11
2.2 Struktura expertních systémů	12
2.2.1 Báze znalostí.....	14
2.2.2 Báze dat	14
2.2.3 Inferenční mechanismus.....	14
2.2.4 Komunikační modul.....	15
2.2.5 Vysvětlovací modul	16
2.2.6 Generátor výsledků	16
2.2.7 Modul externích zdrojů	17
3 CHARAKTERISTICKÉ RYSY A TYPY EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ	18
3.1 Charakteristické rysy	18
3.2 Typy expertních systémů	19
3.2.1 Klasifikace podle obsahu báze znalostí.....	19
3.2.2 Klasifikace podle charakteru řešených úloh.....	19
3.2.3 Klasifikace podle způsobu reprezentace znalostí	20
3.3 Zpracování neurčitosti.....	22
3.3.1 Bayesovský přístup	22
3.3.2 Fuzzy logika	23
3.4 Výhody a nevýhody expertních systémů	24
4 TVORBA EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ.....	26
4.1 Životní cyklus.....	26
4.1.1 Analýza příležitostí	26
4.1.2 Studie o přijatelnosti	27
4.1.3 Tvorba demonstrátora	27
4.1.4 Vývoj prototypu	28
4.1.5 Implementace a instalace cílového systému.....	28

4.1.6	Údržba a rozšíření	28
4.2	Získávání znalostí	29
4.2.1	Stádia a fáze získávání znalostí	30
5	HISTORIE A APLIKACE EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ	32
5.1	Aplikace expertních systémů	34
5.1.1	Kategorie způsobů použití expertních systémů	34
6	VOJENSKÉ A BEZPEČNOSTNÍ APLIKACE EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ	35
6.1	Pozemní síly.....	38
6.1.1	ADRIES.....	38
6.1.2	ESROC	38
6.1.3	KBGIS	38
6.1.4	PRIDE	39
6.1.5	TED.....	40
6.2	Vzdušné síly.....	40
6.2.1	AIRID.....	40
6.2.2	LES.....	40
6.2.3	TATR	41
6.3	Námořní síly	41
6.3.1	BATTLE.....	41
6.3.2	SIAMES	42
6.4	Vševojsková oblast	44
6.4.1	AI-EOD	44
6.4.2	CEMES.....	45
6.4.3	GTEX	45
6.4.4	MBEES.....	46
6.4.5	MCTA	47
6.4.6	SEAT.....	48
6.5	Bezpečnostní oblast.....	50
6.5.1	DOC - EXPLOIT	50
6.5.2	ESP - APES	51
6.5.3	FRIEND – FOE / FIRE DECISION	53
6.5.4	SEC	53
7	POPIS VYBRANÝCH APLIKACÍ EXPERTNÍCH SYSTÉMŮ.....	54

7.1	ADRIES	54
7.2	BATTLE	65
7.2.1	Vyhodnocování efektivity zbraňových systémů.....	65
7.2.2	Rozpoznávání námořních plavidel.....	71
7.3	KBGIS	77
7.4	FRIEND – FOE / FIRE DECISION	82
8	ZÁVĚR	89
	SEZNAM OBRÁZKŮ	93
	SEZNAM TABULEK	95
	POUŽITÉ ZDROJE	96

Předmluva

Tato diplomová práce se zabývá problematikou expertních systémů se zaměřením na vojenské aplikace. Oblast vojenských, potažmo bezpečnostních a obranných aplikací expertních systémů není v současné době dostatečně a komplexně publikačně zmapována. A právě z důvodu pokrytí této informační mezery se jeví napsání této práce jako přínosné. Práci je možné posléze uplatnit jako dílčí podklad sloužící pro doplňkové studium aplikací expertních systémů ať z důvodu potřeby rozšíření vědomostní základny, či pro potřeby publikační činnosti.

Základním cílem této práce je poskytnutí informací o expertních systémech v obecné rovině (bez hlubších a detailnějších formulací), společně s co nejkompexnějším přehledem a popisem aplikací expertních systémů využitých ve vojenských (bezpečnostních) oblastech.

Z hlediska charakteru diplomové práce jako neutajovaného dokumentu jsou veškeré informace týkající se vojenských, obranných a bezpečnostních aplikací expertních systémů získány pouze z otevřených zdrojů. I přes tuto skutečnost je důležité si uvědomit, že jakákoliv možnost získat potřebné informace z utajovaných zdrojů je silně limitována dostupností v rovině absence přístupu k těmto druhům informací. V souvislosti s tímto je zřejmé, že skutečná informační základna týkající se aplikací expertních systémů ve vojenství je ve skutečnosti mnohem větší.

Většina vojenských aplikací expertních systémů uvedených v této práci se datuje ke konci 20. století. I přes tuto skutečnost je možné se domnívat, že uvedené aplikace jsou stále využívány, modernizovány a vyvíjeny. V porovnání s aplikacemi operačně nasazenými v minulosti vyvstává zřejmá otázka, v jaké fázi vývoje a využití se mohou nacházet současné vojenské a bezpečnostní aplikace expertních systémů.

Ke zpracování byly využity monografie, články a texty z webových stránek a patentové informace. Byly použity informace jak z prostředí povrchového, tak hlubokého webu, otevřeně i komerčně dostupné. Prakticky všechny uvedené informace týkající se vojenských a bezpečnostních aplikací expertních systémů pocházejí z anglicky psaných informačních zdrojů. Použité informační zdroje jsou citovány podle normy ISO 690 a ISO 690-2.

1 Úvod

Expertní systémy jsou aplikací výzkumu umělé inteligence. Jako takové jsou aplikačně velmi zajímavým a především chtěným a požadovaným nástrojem pro řešení problémů v řadě odvětví a oborů civilního a vojenského života.

Cílem diplomové práce je jak v obecné rovině charakterizovat oblast expertních systémů jako celku, s důrazem na informace důležité pro ucelené pochopení této problematiky, tak (zejména) co nejkompaktněji zmapovat (popsat) oblast vojenských a bezpečnostních aplikací expertních systémů. Popis těchto aplikací by měl čtenáři poskytnout srozumitelnou představu a příklady, co vše lze pomocí expertních systémů ve vojenství řešit.

Práce je rozdělena na dva hlavní informační bloky a jednotlivé dílčí podkapitoly. První blok je tvořen problematikou expertních systémů jako celku. Je uvedeno definiční vymezení včetně popisu jednotlivých strukturálních složek, jež se mohou lišit podle způsobů využití expertního systému. V návaznosti je zmíněna oblast charakteristických rysů těchto systémů, jejich základní typy společně s popisem hlavních výhod a nevýhod pramenících z implementací v praktickém použití. Další kapitola je věnována postupu tvorby expertních systémů a procesu, při kterém dochází k samotnému získávání znalostí. Závěr prvního informačního bloku je tvořen popisem způsobů použití a stručnou historií expertních systémů.

Je nutné podotknout, že tento blok si neklade za úkol co nejobsáhleji popsat a charakterizovat problematiku expertních systémů. Ba naopak. Je kladen důraz na to, aby čtenář dostal ucelené informace k dostatečnému a snadnému pochopení expertních systémů jako celku, zejména ve vztahu k informacím uvedeným v navazujícím druhém informačním bloku.

V druhém informačním bloku jsou kapitoly, jež se zaměřují již na aplikace expertních systémů, a to průřezově, jak ve všech hlavních vojenských složkách jako jsou pozemní, vzdušné, námořní a vševojskové síly, tak v bezpečnostní oblasti. V první části tohoto bloku je uveden přehled a základní informace týkající se celkem 20 aplikací. Druhá část je tvořena detailním popisem čtyř vybraných aplikací expertních systémů. Z hlediska časového intervalu vzniku či operačního nasazení, se většina uvedených aplikací vztahuje k 80. a 90. letům minulého století.

2 Definice a struktura expertních systémů

Lidská činnost jako by si říkala o existenci expertních systémů. Ve své podstatě se lidstvo v rámci svého vývoje systematicky snaží o zjednodušení svých pracovních činností s cílem, aby velká část pracovních úkonů expertní úrovně byla nahrazena systémy, které by dokázaly simulovat rozhodovací činnost jedince (experta) při řešení složitých úloh. A toto právě expertní systémy zvládají, a proto jsou vyvíjeny. Aby byl expertní systém efektivní a smysluplný, musí obsahovat především znalosti, které reprezentují znalosti skutečného lidského odborníka v daném oboru působnosti. Dále je nutné, aby expertní systém měl schopnost tyto znalosti využít (uměl se rozhodovat) na základě vstupních podmínek nebo údajů k dané problematice a byl posléze schopný svá rozhodnutí a výsledky dostatečně reprodukovat a vysvětlit. Vše v souběžném sledu s efektivním využitím finančních nákladů, úsporami času nebo ochranou lidského života.

2.1 Definiční vymezení

Pojem expertní systém (ES) byl poprvé použit na přelomu 70. a 80. let 20. století. Přesná definice tohoto pojmu nebyla dosud stanovena [CELBOVÁ, I. 1999]. Je známo několik definic expertních systémů. Jako nejvíce zmiňovanou a používanou je definice M. Minského, kterou uvádí [DVOŘÁK, J. 2004], jež charakterizuje ES jako počítačový program, simulující rozhodovací činnost experta při řešení složitých úloh a využívající vhodně zakódovaných, explicitně vyjádřených znalostí, převzatých od experta, s cílem dosáhnout ve zvolené problémové oblasti kvality rozhodování na úrovni experta.

Podle [HABIBALLA, H. 2004] je možné expertní systém také chápat jako počítačový systém hledající řešení problému v rozsahu určitého souboru tvrzení nebo jistého seskupení znalostí, které byly formulovány experty pro danou specifickou oblast. Literatura [GOSMAN, S., et al. 1990] definuje jednoduše ES jednou větou jako systém pracující se znalostmi špičkových odborníků (expertů) a simulující složité procesy těchto expertů.

Důležitou poznámku dodává [MAŘÍK, R., et al. 1997], kdy cílem ES není co možná nejvěrnější snaha o kopírování mentálních procesů experta při jeho rozhodování, ale co

nejrelevantnější zpracování reálných dat a poskytnutí tak objektivní (lidskými myšlenkovými pochody nepoznamenané) rozhodnutí daného problematického aspektu.

Z hlediska definičního vymezení nesmíme taktéž opominout pojem znalostní systém. Expertní a znalostní systémy nejsou synonymálními pojmy. Znalostní systém je obecnější pojem než expertní systém. Platí, že každý expertní systém je také znalostním systémem. Znalostní systém nicméně nemusí mít všechny rysy expertních systémů (nevyznačuje se například používáním expertních znalostí nebo chybí schopnost vysvětlit svá rozhodnutí). [PINDUROVÁ, L. 2003]

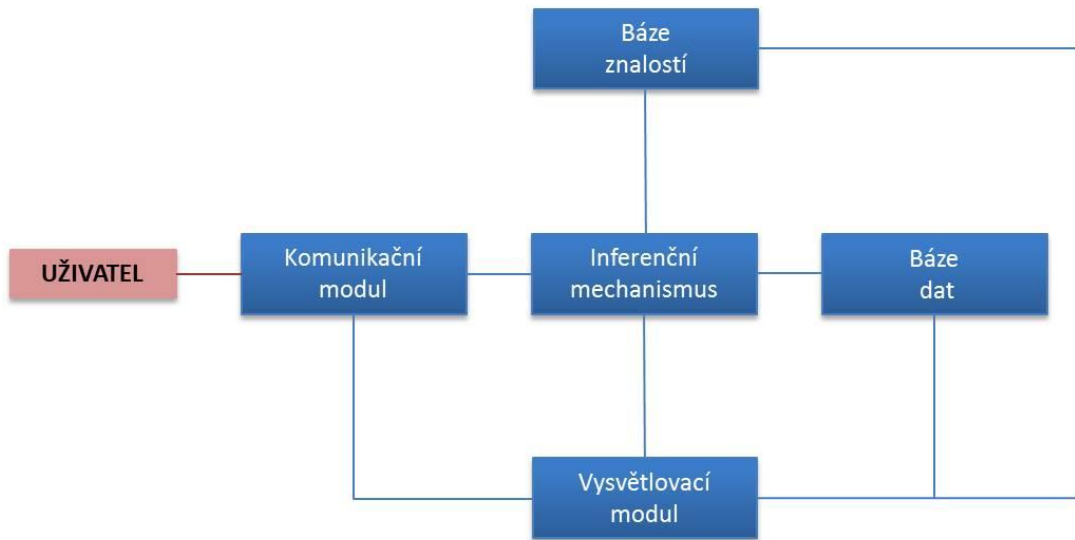
2.2 Struktura expertních systémů

Základní koncept ES vychází z představy, že uživatel poskytuje systému fakta a jako odezvu dostává expertní radu – expertízu. ES se pak skládá ze dvou hlavních částí: znalostní báze obsahující znalosti, které jsou zpracovávány inferenčním (řídícím) mechanismem. Proces generování expertízy se nazývá inferencí, která je analogií k výrazu usuzování, používanému ve spojení s expertíзой generovanou lidským expertem. Jinými slovy, inference je strojové usuzování. Uživatelem může být i expert; v tomto případě ES slouží jako inteligentní asistent - poradce, který může přispět k větší efektivitě při řešení problému [PROVAZNÍK, I, et al. 1999]

Expertní systém obsahuje následující základní složky (moduly) [BERKA, P. 2004]:

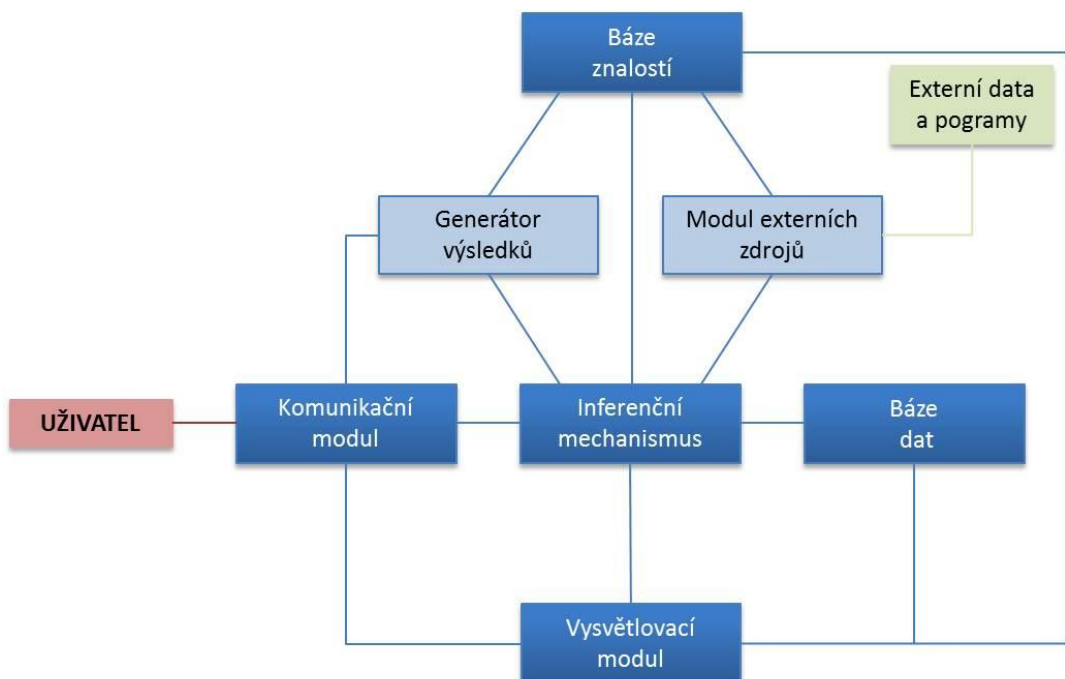
- Bázi znalostí.
- Báze dat (data k případu).
- Inferenční mechanismus.
- Vysvětlovací modul.

Obrázek 1: Základní blokové schéma struktury expertního systému. Podle [BERKA, P. 2004].



I v případě samotné struktury ES existují napříč literaturou různé přístupy týkající se zařazení jednotlivých modulů [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002] rozšiřuje strukturu ES o další dva moduly, kterými jsou Modul externích zdrojů a Generátor výsledků (viz. obrázek 2). Je možné se domnívat, že s pomocí tohoto rozšířeného blokového schéma je expertní systém jako celek snadněji pochopitelný.

Obrázek 2: Rozšířené blokové schéma struktury expertního systému. Podle [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002].



2.2.1 Báze znalostí

Báze znalostí ES obsahuje znalosti z určité domény a specifické znalosti o řešení problémů v této doméně (tj. všechny znalosti, kterých expert využívá při řešení dané problémové oblasti). Znalosti obsažené v bázi znalostí mohou být nejrůznějšího charakteru a to [GOSMAN, S., et al. 1990]:

- od nejobecnějších znalostí až po znalosti vysoce specifické,
- od „učebnicových“ znalostí až po znalosti „soukromé“ (tj. takové, jaké by si expert ani nedovolil publikovat),
- od exaktně prokázaných znalostí až k nejistým heuristikám ¹,
- od jednoduchých znalostí až po metaznalosti (tj. znalosti o znalostech).

V souvislosti s uvedenými charaktery znalostí se ukazuje, že právě rozsah a kvalita vysoce specifických, soukromých heuristických znalostí a metaznalostí odlišují experta od průměrného pracovníka v dané oblasti.

2.2.2 Báze dat

K řešení určitého konkrétního problému je třeba poskytnout systému data o daném případě. Tato data se ukládají do báze dat, což je tedy množina údajů k danému případu. Konkrétní data poskytuje uživatel, a to v dialogovém režimu s počítačem. Tento dialog simuluje dialog nezkušeného odborníka s expertem [CELBOVÁ, I. 1999].

2.2.3 Inferenční mechanismus

Inferenční mechanismus je složen ze souboru spolupracujících programů zabezpečujících procedurální složku činnosti expertního systému. Tím inferenční modul umožňuje v určitém rozsahu napodobovat expertovu schopnost uvažovat. Modul tedy odpovídá mechanismům všeobecného uvažování, opírajícího se o bázi poznatků, na jejímž základě je možno konkrétní problémy řešit. Typický inferenční mechanismus je založen na inferenčním pravidle pro odvozování nových poznatků z existujících znalostí a strategii

¹ Heuristikami nazýváme exaktně nedokázané vlastnosti, které expert získal dlouholetou praxí a o nichž ví pouze to, že mu pomáhají při řešení odborných úloh, i když mnohdy nezaručují nalezení správného řešení.

prohledávání báze znalostí. Co se týká možností inference je možné uvažovat následující metody [DVOŘÁK, J. 2004], [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002]:

- Dedukce – logické usuzování, při němž závěry musejí vyplývat z předpokladů.
- Indukce – postup od specifického případu k obecnému.
- Abdukce – usuzování směřující ze správného závěru k předpokladům, které jej mohly způsobit.
- Heuristiky – pravidla „zdravého rozumu“ založená na zkušenostech.
- Generování a testování – metoda pokusů a omylů.
- Analogie – odvozování závěru na základě podobnosti s jinou situací.
- Defaultní inference – usuzování na základě obecných znalostí v případě absence znalostí specifických.
- Nemonotónní inference – je možná korekce respektive ústup od dosavadních znalostí na základě nového pozorování.
- Intuice – obtížně vysvětlitelný způsob usuzování, jehož závěry jsou možná založeny na nevědomém rozpoznání nějakého vzoru. Tento typ usuzování zatím pravděpodobně nebyl v ES implementován a snad by se k němu mohlo blížit usuzování neuronových sítí.

2.2.4 Komunikační modul

Jedná se o modul, který zprostředkovává interakci mezi uživatelem a expertním systémem. Pro toho, kdo potřebuje pomoc a radu experta, je možnost srozumitelné komunikace velmi důležitá. Problém je málokdy zadáván v jedné větě, často tazatel ani sám neví, co požaduje. Pokud nahradíme experta odpovídajícím expertním systémem, problém komunikace se rozhodně nezjednoduší. Ani nejvýznamnější informace uchovávané v bázi poznatků, ani nejdokonalejší metody inference nejsou dostačující, pokud není užívání takového systému srozumitelné, jednoduché, pohodlné a přirozené. K hlavním funkcím komunikačního modulu patří [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002]:

- spouštění a ukončení činnosti ostatních modulů a systému jako celku,
- realizace dialogu během odvozování - kladení otázek uživateli, načítání jeho odpovědí, vypisování chybových a pomocných zpráv a podobně,
- obsluha povelů (příkazů a požadavků) uživatele.

2.2.5 Vysvětlovací modul

Při komunikaci s lidským expertem se očekává nejen to, že se bude umět správně a rychle rozhodnout, ale i to, že bude schopen svoje rozhodnutí vysvětlit a logicky zdůvodnit. Podobná způsobilost se pochopitelně očekává i od expertního systému. Tuto úlohu zabezpečuje vysvětlovací mechanismus. Jedním z rozdílů mezi znalostními a expertními systémy je právě skutečnost, že zatímco od znalostního systému se tato schopnost nevyžaduje, vysvětlovací mechanismus je nedílnou součástí každého expertního systému. Právě díky němu má uživatel možnost nechat si zdůvodnit kromě způsobu řešení problému i jeho výsledek. Zviditelnění rozhodovací činnosti expertního systému je předpokladem toho, aby mu uživatel rozuměl a mohl odvozené výsledky přijmout nebo zamítnout. Vysvětlovací mechanismus musí být schopen odpovídat na dva základní typy otázek týkající se činnosti expertního systému [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002]:

Proč

- odvozuje určitý fakt?
- volí konkrétní alternativu rozhodování?
- požaduje od uživatele daný údaj?

Jak

- odvodil daný fakt?
- dospěl k danému výsledku?
- dospěl ke konkrétní alternativě rozhodování?

2.2.6 Generátor výsledků

Úlohou generátoru výsledků je zabezpečit, aby ES oznamoval postup a dosažené výsledky přímočaře, bez nadbytečných informací, které jsou vzhledem k běžnému užívání systému nepotřebné, popřípadě i zavádějící. Z faktů, zjištěných odvozováním nebo kladením otázek, začleňuje generátor výsledků do závěrečné zprávy jen ty, které bezprostředně souvisí s dosaženým výsledkem a s tou částí odvození, která k němu vedla. Uspořádává vybraná fakta do odůvodněných a obsahově vzájemně souvisejících celků, nepoužívá ty, které jsou nadbytečné, zhodnocuje mezivýsledky v kontextu celého postupu řešení a začleňuje je do uspořádaného a srozumitelného celku [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002].

2.2.7 Modul externích zdrojů

Při realizaci expertního systému v praxi je obvyklé, že tento ke svému chodu potřebuje údaje z nějakých zařízení. Je-li například počítač připojený k nějakému zařízení, pak je obvykle snímání, aktualizace a uchovávání údajů z tohoto zařízení zabezpečováno standardními algoritmy. Modul externích zdrojů vykonává dvě základní činnosti [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002]:

- **Práci s externími daty** - pokud inferenční mechanismus dospěje k tomu, že potřebuje v některém okamžiku procesu určitý fakt, může se pokusit získat jej z externích zdrojů. Úlohou modulu styku s prostředím je v tomto případě sledování situací, ve kterých inferenční mechanismus potřebuje data. Pokud taková situace nastane, modul styku s prostředím převezme řízení a začne prohledávat zdroj externích dat. V případě úspěchu umožní vložit nalezený fakt do báze faktů a odevzdá řízení zpět inferenčnímu mechanismu. V opačném případě buď způsobí aktivaci komunikačního modulu, který zajistí předložení příslušné otázky uživateli (pokud expertní systém pracuje v režimu interakce s uživatelem), nebo musí vzniklou situaci ošetřit, to znamená oznámit inferenčnímu mechanismu, že požadovaný fakt je nepravdivý, neznámý nebo nahraditelný odhadnutelnou hodnotou.
- **Práci s externími programy** - v principu může být vzájemná interakce vyvolaná oběma stranami - expertním systémem i externím programem. Expertní systém ji vyvolává tehdy, jestliže požadovaný fakt může získat aktivací určité procedury. Externí program aktivuje expertní systém zpravidla tehdy, když potřebuje vykonat interpretaci dat, která vyžaduje produktivní postup experta, anebo tehdy, když potřebuje vybrat nejvhodnější postup k dalšímu zpracování dat. V každém případě je úlohou modulu styk s prostředím, přenos řízení, přenos údajů, synchronizace a ošetřování chyb.

3 Charakteristické rysy a typy expertních systémů

Hlavním rysem expertního systému je oddělená báze znalostí od referenčního mechanismu a stupeň neurčitosti, jímž jsou data zatížena. Expertní systém je schopný s uživatelem komunikovat a podávat vysvětlující informace svého uvažování. Systém může být orientován na konkrétní případ (problém) nebo se nacházet v prázdné podobě, bez báze znalostí. V některých případech postupuje při řešení úlohy tak, že je znám konečný soubor možných závěrů a systém předkládá jeden z nich a nebo naopak dochází ke generování výsledku na základě znalosti všech možných řešení. V jiných případech dochází ke kombinaci obou přístupů. Výhodou expertního systému je trvalost expertíz, použitelnost na rizikových místech či neúnavnost. Naproti tomu stále chybí lidská kreativita a schopnost adaptace na měnící se prostředí a podmínky.

3.1 Charakteristické rysy

Mezi charakteristické rysy ES patří následující [BERKA, P. 2004]:

- **Oddělení znalostí a mechanismu pro jejich využití** - znalosti experta jsou uloženy v bázi znalostí odděleně od inferenčních mechanismů. To umožňuje vytvářet prázdné (nezávislé) expertní systémy, kde jeden inferenční mechanismus může pracovat s různými bázemi znalostí.
- **Neurčitost v bázi znalostí** - v bázi znalostí jsou uloženy nejen exaktně dokázané znalosti, ale i nejrůznější heuristiky, které se například expertovi osvědčily při rozhodování za dlouhou dobu praxe (objevují se pojmy jako „často“, „většinou“, které je potřeba kvantifikovat).
- **Neurčitost v datech** – konkrétní data bývají zatížena neurčitostí způsobenou nepřesně určenými hodnotami nebo subjektivním pohledem uživatele.
- **Dialogový režim** - expertní systémy jsou nejčastěji konstruovány jako tzv. konzultační systémy. Uživatel komunikuje se systémem způsobem "dotaz systému - odpověď uživatele", obdobně jako s lidským expertem.

- **Vysvětlovací činnost** - expertní systém by měl poskytovat vysvětlení svého uvažování a řešení. Obvykle systém vysvětluje položený dotaz, znalosti relevantní k nějakému tvrzení, zkoumanou hypotézu či probíhající odvozování.
- **Modularita a transparentnost báze znalostí** - modularita umožňuje snadnou aktualizaci báze znalostí, transparentnost umožňuje její snadnou čitelnost a srozumitelnost.

3.2 Typy expertních systémů

3.2.1 Klasifikace podle obsahu báze znalostí

Prázdný expertní systém - systém bez problémově závislých částí (tj. bez báze znalostí a báze dat). Tento typ expertních systémů se podařilo vyvinout pouze pro řešení diagnostických úloh (diagnostické expertní systémy). Plánovací a hybridní expertní systémy mají totiž výrazně problémově závislou bázi znalostí [CELBOVÁ, I. 1999].

Problémově orientované - systémy, jejichž báze znalostí obsahuje znalosti z určité domény (oblasti). Jedná se o prázdný expertní systém doplněný o bázi znalostí. Je použitelný k řešení úloh pouze v určité problémové oblasti (architektura, typ reprezentace znalostí a řídicí mechanismus jsou těsně spojeny s danou oblastí) [CELBOVÁ, I. 1999], [DVOŘÁK, J. 2004].

Expertní systém řešící konkrétní případ - jedná se o systém obsahující všechny důležité složky - bázi znalostí, řídicí mechanismus a bázi dat. Takový systém je již určený k řešení určitého problému [CELBOVÁ, I. 1999].

3.2.2 Klasifikace podle charakteru řešených úloh

Diagnostické - jejichž úkolem je určit, která hypotéza z předem definované konečné množiny cílových hypotéz nejlépe koresponduje s daty týkajícími se daného konkrétního případu. Řešení případu probíhá formou postupného ohodnocování a přehodnocování dílčích a cílových hypotéz v rámci pevně daného vnitřního modelu řešeného problému. Tyto systémy se také nazývají systémy klasifikačního charakteru [GOSMAN, S., et al. 1990].

Plánovací - systémy, které obvykle řeší takové úlohy, kdy je znám cíl řešení a počáteční stav a je třeba s využitím dat o konkrétním řešeném případě nalézt posloupnost

kroků, kterými lze cíle dosáhnout. Tyto systémy se opírají o princip generování a testování přípustných řešení, jež jsou obvykle hodnoceny jistou mírou optimality, k jejímuž výpočtu se též využívá údajů z báze dat. Tyto systémy bývají také nazývány jako systémy generativní [GOSMAN, S., et al. 1990].

Hybridní - tyto systémy vznikají kombinací architektury diagnostického a plánovacího systému. Tímto typem jsou například inteligentní výukové systémy či monitorovací systémy [CELBOVÁ, I. 1999].

3.2.3 Klasifikace podle způsobu reprezentace znalostí

Expertní systémy založené na pravidlech - báze znalostí je v tomto případě tvořena množinou produkčních pravidel, která na základě vyvstálé situace provádějí předepsanou akci, kterou se pozměňuje model řešeného případu (IF – THEN / pokud tato situace – potom tato akce). Pro využívání pravidel existují dvě strategie, a to strategie přímého řetězení, kdy jsou pravidla užívána k odvozování ve směru od dat k cílům, a strategie zpětného řetězení, kdy jsou pravidla užívána v opačném směru. Řídící mechanismus rozhoduje o tom, které z aplikovaných pravidel bude použito. Mezi systémy založené na pravidlech patří zejména diagnostické systémy. V tomto případě je možné bázi znalostí vyjádřit v podobě tzv. inferenční sítě, jež je reprezentována orientovaným grafem (každému tvrzení odpovídá uzel grafu a každému pravidlu orientovaná hrana). Inferenční síť je jednoznačně dána návaznost pravidel a tím pevná struktura odvozovacího procesu [GOSMAN, S., et al. 1990].

Expertní systémy založené na rámcích - rámce jsou datové struktury, sdružující komplexní informace o objektech, třídách objektů, stereotypních situacích apod. Tento prostředek reprezentace vychází z poznatku, že lidé používají pro analyzování a řešení nových situací rámcové struktury znalostí získaných na základě předchozích zkušeností. Rámec je tvořen jménem a množinou atributů. Atribut může dále obsahovat položky, jako např. aktuální hodnotu, implicitní hodnotu, rozsah možných hodnot. Rámce mohou být generické nebo specifické. V rámci tabulky 1 je uveden příklad generických rámců Majetek a Auto a specifického rámce Janovo auto. Rámec Auto reprezentuje celou třídu aut, kdežto v případě rámce Janovo auto se jedná o určité konkrétní auto. Mezi rámci mohou existovat vztahy dědičnosti, které umožňují distribuovat informace bez nutnosti jejich zdvojování [DVOŘÁK, J. 2004].

Tabulka 1: Příklad rámce a jeho struktury [DVOŘÁK, J. 2004]

JMÉNO RÁMCE	MNOŽINA ATRIBUTŮ	
Rámec Majetek	Specializace čeho	Objekt
	Typ	rozsah: (auto, loď, dům) if-added :procedure PŘIDEJ_MAJETEK
	Vlastník	if-needed: procedure NAJDI_VLASTNÍKA
	Umístění	rozsah: (doma, práce, mobilní)
	Stav	rozsah: (chybí, špatný, dobrý)
	Záruka	rozsah: (ano, ne)
Rámec Auto	Specializace čeho	Majetek
	Typ	rozsah: (sedan, sportovní_vůz)
	Výrobce	rozsah: (GM, Ford, Chrysler)
	Umístění	Mobilní
	Kola	4
	Převodovka	rozsah: (manuální, automatická)
	Motor	rozsah: (benzínový, naftový)
Rámec Janovo auto	Specializace čeho	Auto
	Typ	sportovní_vůz
	Výrobce	GM
	Vlastník	Jan Chodec
	Převodovka	Automatická
	Motor	Benzínový
	Stav	Dobrý
	Záruka	Ano

Expertní systémy založené na logickém programování - znalosti jsou vyjádřeny ve formě logických formulí. Dokazuje se pravdivost systému takových formulí. Tento typ není vhodný k reprezentaci a využívání neurčitých znalostí, jelikož neurčitost není pro logiku typická (na rozdíl například od fuzzy logiky, kde je neurčitost dat typickou záležitostí) [GOSMAN, S., et al. 1990].

3.3 Zpracování neurčitosti

Jednou z důležitých schopností inferenčního mechanismu expertního systému je zpracování neurčitosti, která se v ES může vyskytovat jednak v bázi znalostí a jednak v bázi faktů. Neurčitost bývá charakteristickým prvkem složitých systémů, v našem případě expertních. Zdroji neurčitosti mohou být nepřesnost, nekompletnost, nekonzistence dat, vágní pojmy či nejisté znalosti. Neurčitost bývá v ES vyjadřována většinou numerickými parametry, které se přiřazují jednotlivým tvrzením nebo pravidlům. Často nabývají hodnot z intervalu $\langle 0,1 \rangle$ nebo $\langle -1,1 \rangle$. Tyto parametry se mohou nazývat např. váhy, míry, stupně důvěry, faktory jistoty. Neurčitost může být reprezentována a zpracovávána například pomocí následujících přístupů a prostředků [DVOŘÁK, J. 2004]:

- pravděpodobnostní (Bayesovské) přístupy,
- faktory jistoty,
- Dempster-Shaferova teorie,
- fuzzy logika.

Protože se v následujících kapitolách zabývající se konkrétními aplikacemi ES objevuje zpracování neurčitosti, uveďme si více informací k pojmům Bayesovský přístup a fuzzy logika

3.3.1 Bayesovský přístup

Jedná se o nejstarší a nejlépe definovanou techniku pro zpracování neurčitosti. Uvažujme znalost ve tvaru pravidla $E \rightarrow H$, které říká, že předpoklad (evidence) E podporuje závěr (hypothesis) H . Neurčitost závěru H v závislosti na předpokladu E může být kvantifikována pomocí podmíněné pravděpodobnosti $P(H|E)$, která je dána podle Bayesových vzorců takto [DVOŘÁK, J. 2004]:

$$P(H|E) = \frac{P(E|H)P(H)}{P(E)}$$

Bayesovská síť je orientovaný acyklický² graf, jehož uzlům odpovídají náhodné proměnné a vazby reprezentují závislosti mezi těmito proměnnými. Hrana $X \rightarrow Y$ znamená, že X ovlivňuje Y . Bayesovská síť umožňuje provádět prediktivní i diagnostické inference. Inference je založena na Bayesovských vzorcích [DVOŘÁK, J. 2004].

3.3.2 Fuzzy logika

Z hlediska přístupu pomocí fuzzy logiky se zaměříme na zpracování neurčitosti pomocí fuzzy množin a lingvistických proměnných.

Fuzzy množiny - v klasické teorii množin prvek do množiny buďto patří (úplné členství v množině), nebo nepatří (žádné členství v množině). Fuzzy množina je množina, která kromě úplného nebo žádného členství připouští i členství částečné. To znamená, že prvek patří do množiny s jistým stupněm příslušnosti. Funkce, která každému prvku universa přiřadí stupeň příslušnosti, se nazývá funkce příslušnosti [RYDVAL, S. 2005].

Každému prvku přiřadíme stupeň příslušnosti, který vyjadřuje míru příslušnosti daného prvku do fuzzy množiny (například každé hodnotě věku přiřadíme číslo z intervalu $\langle 0,1 \rangle$). Úlohou fuzzy teorie je zachytit vágně specifikované požadavky uživatele v dotazu a adekvátně k tomu vypočítat stupeň příslušnosti. Uživatel tedy musí mít možnost používat vágní pojmy buďto přímo nebo je jednoduchým způsobem reprezentovat. Jeden z hlavních problémů je určení funkce příslušnosti. Pro prvky universa v okolí hraničních bodů by mělo platit, že čím víc se blíží prvky universa k hraničním bodům, tím pomaleji roste (klesá) hodnota stupně příslušnosti. V následující tabulce je uveden jednoduchý příklad fuzzy množiny střední věk (kolem 35 let) společně s jednotlivými stupni příslušnosti.

Tabulka 2: Příklad fuzzy množiny – střední věk. Podle [RYDVAL, S. 2005]

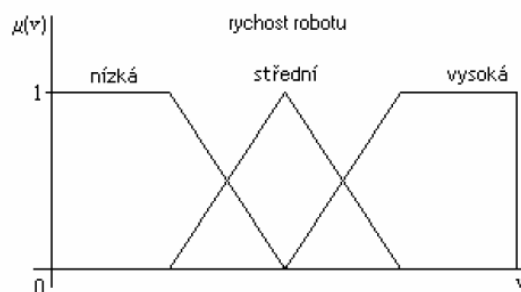
VĚK	STUPNĚ PŘÍSLUŠNOSTI
31	0.000
32	0.432
33	0.654
34	0.876
35	1.000
36	0.876

² Acyklický graf je souvislý orientovaný graf, který neobsahuje žádný cyklus.

37	0.654
38	0.432
39	0.000

Lingvistická proměnná - Lingvistická (slovní, jazyková) proměnná je taková proměnná, jejímiž hodnotami jsou slova. Významy těchto slov jsou reprezentovány jako fuzzy množiny v nějakém univerzu [DVOŘÁK, J.2004]. Například slovní proměnná „rychlost robotu“ může nabývat tří slovních hodnot nízká, střední a vysoká, kterým odpovídají fuzzy čísla definovaná na intervalu reálných čísel (viz. obrázek 3). Obvykle se požaduje, aby součet funkcí příslušnosti byl pro každý bod univerza roven 1.

Obrázek 3: Slovní proměnná „rychlost robotu“. Převzato z [DVOŘÁK, J. 2004].



3.4 Výhody a nevýhody expertních systémů

Výhodou ES je jeho schopnost řešit složité problémy, jeho expertízy jsou trvalé s možností opakovatelnosti a uchováním znalostí (např. odborníků odcházejících z organizace). Expertní systém nepodléhá náladám, neovlivňuje ho psychická a fyzická kondice, je stejně "soustředěný" na každý problém, nevynechá z nepozornosti žádný krok expertízy a navíc není nikdy nemocný. Umělý systém je možné používat současně na více místech a na různé účely, čímž se zvýší jeho produktivita, ovlivňující míru návratnosti takové investice [DVOŘÁK, J. 2004], [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002].

Přístupná část expertových znalostí může být poskytnuta i ne-expertovi. Tím, že je schopen zdůvodňovat svoje kroky a výsledky, může sloužit jako školicí nástroj pro méně zkušené pracovníky a zvyšovat jejich kvalifikační úroveň. V případě, že v podniku pracuje

více specialistů, není vyloučena možnost jejich vzájemných konfliktů. Ty vyplývají z různých názorů na způsob řešení problémů. Expertní systém poskytuje standardizované řešení. Může být použit i v prostředí, které by bylo pro člověka určitým způsobem rizikovým (chemická výroba, jaderný reaktor apod.). Dokáže za pomoci čidel snímat různé hodnoty a rozhodnout o dalším postupu, aniž by se v daném prostředí musel nacházet člověk [DVOŘÁK, J. 2004] [JIRSÍK, R., et al. 2005].

Nevýhodou ES se jeví nebezpečí selhání ve změněných podmínkách. ES nejsou ve smyslu myšlení kreativní, uvažují pouze v tendencích zadaných člověkem. Zatímco člověk se poměrně snadno přizpůsobuje novým podmínkám, u stroje je adaptace většinou daleko větším problémem. Kromě vymezené problémové oblasti nemají představu o jiných možnostech řešení. Znalosti a dovednosti člověka se s časem a získanými zkušenostmi vyvíjejí [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002].

Další skupinou nevýhod je to, že expertní nebo znalostní systém bude bez lidského zásahu i za dvacet let navrhovat stejné postupy. Člověk má k diagnostikování problémů více smyslů, a tím i více podnětů. I maličkosti mohou experta někdy vést ke správnému výsledku (lehce třesoucí se ruce pacienta s žaludečními problémy mohou například dovést doktora až k myšlence na psychickou poruchu). ES mají omezené vysvětlovací schopnosti a stále postrádají obyčejný lidský rozum [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002].

4 Tvorba expertních systémů

Tak jako všechny projekty lidské činnosti i proces tvorby expertního systému má své postupné kroky, které je nutné naplnit (návrh, implementace, verifikace). Klíčovým prvkem tvorby systému je získávání samotných znalostí, jež má na starosti obor znalostního inženýrství. Tyto informace jsou získávány od expertů, z textů, dat či jiných zdrojů potřebných pro naplnění báze znalostí. Existují různé požadavky na aplikace a použití expertního systému, které se liší podle konkrétních uživatelských potřeb. Od systému se očekává aplikační podpora při plánovacích, monitorovacích, diagnostických, řídicích, výukových a dalších činnostech tak, aby efektivně naplnil požadavky na něj kladené.

4.1 Životní cyklus

Životní cyklus expertního systému je představován jednotlivými fázemi tvorby tohoto systému. Jedná se o tři základní fáze - analýzu, vývoj a reálné používání. Tyto fáze se následně dělí na analýzu příležitostí, studii přijatelnosti, tvorbu demonstrátora, vývoj prototypu, implementaci a instalaci cílového systému, údržbu a rozšíření. Popis jednotlivých fází životního cyklu detailně popisuje literatura [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002] a je následující:

4.1.1 Analýza příležitostí

Před začátkem každého projektu je vhodné nejprve udělat průzkum, jehož cílem je najít a ohodnotit možnosti potenciálního znalostního / expertního systému. Průzkum začíná identifikací aplikačních oblastí, které jsou vhodným adeptem na použití znalostních technologií. Identifikované příležitosti se hodnotí podle [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002]:

- strategické hodnoty,
- taktické důležitosti,
- očekávaných přínosů,
- technické složitosti,
- vhodnosti,
- rizika.

Výsledkem analýzy by měl být písemně zpracovaný materiál, ve kterém jsou specifikované aplikační oblasti, které by bylo vhodné v daném podniku řešit s pomocí znalostních technologií.

4.1.2 Studie o přijatelnosti

Základním cílem této fáze je:

- analýza aplikační oblasti, vybrané v předcházející fázi,
- analýza požadavků a komplexních cílů projektu,
- stanovení základních funkčních, operačních a technických specifikací systému a kritérií přijatelnosti,
- vývoj hrubého technického návrhu, organizačního návrhu a plánu projektu.

Koncept přijatelnosti zahrnuje pět aspektů:

- technickou vhodnost,
- organizační důsledky,
- ekonomickou vhodnost,
- praktickou realizovatelnost,
- příležitost a riziko.

Výsledný zpracovaný materiál popisuje vykonané činnosti a dosažené výsledky a doporučuje alternativy pro rozhodovací proces [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002].

4.1.3 Tvorba demonstrátora

Základním cílem této fáze je vývoj a demonstrace první, velmi zjednodušené verze systému [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002]. V této fázi si mohou zúčastnění pracovníci vytvořit jasnou představu o složitosti celého projektu, což může vést k revizi technických rozhodnutí, plánu projektu, definice a specifikace systémů z předcházející fáze. Velkou důležitost má zpětná vazba s budoucím uživatelem, který si vyzkouší práci se znalostním / expertním systémem. Výsledkem práce v této fázi tzv. demonstrátor, který představuje budoucí systém ohraničený na malou část uvažovaného problému, a písemný materiál, který popisuje vykonané aktivity a dosažené výsledky.

4.1.4 Vývoj prototypu

V této fázi životního cyklu je cílem nalezení nejvhodnějšího technického řešení a jeho implementace do fungujícího systému [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002]. Výsledkem vykonaných činností je tzv. prototyp, který splňuje všechny funkční charakteristiky specifikované v předchozích fázích, dále integrovaný soubor softwarových nástrojů, nazvaný vývojový podpůrný systém, který ulehčuje tvorbu báze poznatků z prototypu a písemný materiál, který popisuje vykonané aktivity a ilustruje dosažené výsledky. I když prototyp splňuje všechny funkční požadavky, není ještě konečným výstupem vývojového procesu. Není totiž instalovaný v reálném operačním prostředí (běží pouze ve vývojovém prostředí a případné propojení s externím světem musí být simulované) a jeho testování proběhlo pouze na datovém vzorku, který připravil návrhář systému ve spolupráci s expertem a uživateli. Prototyp je systém úplně odlišný od demonstrátora. Cíle, principy návrhu a vývojové nástroje, použité pro tyto dva systémy, jsou natolik odlišné, že následný vývoj prototypu z demonstrátora není ani vhodný, ani pohodlný.

4.1.5 Implementace a instalace cílového systému

Tato fáze se týká vývoje kompletního systému, který se navenek musí chovat jako prototyp, ale musí být instalovaný v reálném prostředí, testovaný na souborech s reálnými daty a jeho činnost musí být optimalizovaná [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002]. Konkrétně je výsledkem cílový systém, který je konečným produktem vývojového procesu systému, dále systém na podporu údržby, což je speciální systém podporující efektivní údržbu, kompletní soubor manuálů pro uživatele, údržbu i technickou podporu a písemná zpráva popisující vykonané aktivity a dosažené výsledky.

4.1.6 Údržba a rozšíření

Fáze údržby a rozšiřování začíná až po uvedení systému do reálného užívání a trvá po celou dobu jeho užívání. Na kvalitě vykonávání této činnosti přímo závisí délka a efektivnost používání systému a využití všech potenciálních přínosů projektu. Základními cíli jsou [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002]:

- monitorování operačního života systému a zpětné vazby s uživatelem (jeho požadavků a připomínek),

- oprava chyb,
- případná aktualizace systému, aby vyhovoval změnám v hardwarovém a softwarovém prostředí, případně změnám v požadavcích uživatele - tzv. evoluční údržba.

Pod pojmem údržba se rozumí pouze aktualizace báze poznatků, zatímco pojem rozšíření zahrnuje i změnu v základní struktuře prázdného systému. Reálným výsledkem by měly být nové verze báze poznatků systému, upravené manuály, nové verze cílového systému a systému na podporu údržby a materiál, který průběžně zachytává připomínky, poznámky a požadavky uživatelů a záznamy o všech aktivitách, které byly vykonány ve fázi údržby a rozšíření.

4.2 Získávání znalostí

Získávání znalostí je klíčovou operací implementace ES a představuje nejdelší a nejpracnější část vývoje ES. Akvizice znalostí je proces zjišťování znalostí ze zdrojů (expertů, textů, dat, obrázků) a jejich reprezentace v bázi znalostí [DVOŘÁK, J. 2004].

V souvislosti s vývojem expertních systémů vznikl v rámci umělé inteligence samostatný obor, který dostal název znalostní inženýrství. Znalostní inženýrství se obecně zabývá tvorbou expertních systémů, jejich aplikací, údržbou a integrací s jinými softwarovými produkty. Spolu s novým oborem vznikla také nová profese - znalostní inženýr [CELBOVÁ, I. 1999].

Znalostní inženýr tvoří kvalifikovaný komunikační spoj mezi expertem, expertním systémem a uživatelem. Musí být seznámen s problematikou umělé inteligence a expertních systémů, s technickými možnostmi reprezentace znalostí a s dostupnými inferenčními stroji. Kromě toho se musí před tvorbou expertního systému (respektive báze znalostí) podrobně seznámit s terminologií a základy problémové oblasti, získávat od experta znalosti v průběhu celého procesu tvorby báze znalostí, formulovat tyto znalosti způsobem vhodným pro počítačovou reprezentaci a kódovat je do tvaru vhodného pro daný expertní systém [CELBOVÁ, I. 1999], [GOSMAN, S., et al. 1990].

Získávání znalostí od experta je možné charakterizovat jako realizaci efektivního zprostředkování potřebné informace mezi lidským zdrojem a uživatelem. Tohoto procesu se zpravidla účastní [GOSMAN, S., et al. 1990]:

- odborník v dané oblasti – expert,

- znalostní inženýr,
- uživatel expertního systému.

Co se týká samotného získávání znalostí, existují následující způsoby získávání [DVOŘÁK, J. 2004], [CELBOVÁ, I. 1999]:

- získávání znalostí od expertů formou spolupráce mezi znalostními inženýry a experty,
- poloautomatické získávání znalostí, založené na metodě tzv. repertoárové tabulky,
- automatizované získávání znalostí (strojové učení) od expertů, z textů, z dat (data mining.)

4.2.1 Stádia a fáze získávání znalostí

Podle [GOSMAN, S., et al. 1990] prochází proces získávání znalostí celkem dvěma stádii a pěti fázemi. První stádium je tvořené identifikační a konceptuální fází. Druhé stádium se skládá z formalizační, implementační testovací fáze.

Identifikační fáze - jejímž předmětem je identifikování problému, stanovení typu dat a zdroje dat pro tvorbu expertního systému a stanovení strategie a postupu řešení, včetně určení počtu expertů a znalostních inženýrů, to vše na základě co nejpřesněji formulovaného požadavku uživatele.

Konceptuální fáze - na základě identifikace problému, typu dat a zamýšlené strategie vytvořit pojmy, s nimiž se bude následně pracovat. V opakované interakci mezi expertem a znalostním inženýrem se hledají odpovědi na otázky druhu: jaké jsou typy disponibilních dat, jaké jsou znalosti dané a odvozené, jaké budou používané hypotézy v dané doméně apod. Pojmy je potřeba se zabývat i dále, upřesňovat je a v případě potřeby jejich množinu posléze doplňovat.

Formalizační fáze - úkolem formalizace je navrhnout strukturu pojmů vytvořených ve fázi konceptuální, stanovit cesty toku dat pro formální reprezentaci znalostí za použití nástrojů znalostního inženýrství. Je potřeba brát v úvahu zejména charakteristiky dat, prostor hypotéz a model procesů.

Implementační fáze - při implementaci se formulují pravidla pro spojování formalizovaných znalostí do reprezentačních rámců, specifikují se datové struktury, inferenční pravidla a řídicí strategie.

Testovací fáze - testuje se prototyp v implementační fázi a vyhodnocují se použité reprezentace. Na testovacích příkladech se zjišťují nedostatky ve znalostní bázi a inferenční struktuře. Typickými příklady jsou nedostatky v charakteristikách vstupu / výstupu, v inferenčních pravidlech, v řídicích strategiích nebo i v samotných testovacích příkladech.

Práce s jedním expertem probíhá obvykle formou interview. Je nutné přitom brát v úvahu nebezpečí zavlečení chybné expertízy. Toto nebezpečí je nižší při práci se skupinou expertů, která je obvykle založena na panelové diskusi nebo brainstormingu. Práce se skupinou expertů je ovšem náročnější na přípravu a průběh a hrozí při ní nebezpečí konfliktů mezi experty [DVOŘÁK, J. 2004].

Při získávání znalostí od experta se používají tyto techniky [DVOŘÁK, J. 2004]:

- Nestrukturované interview (běžný rozhovor, vhodné pro počáteční fázi).
- Strukturované interview (kladení cílených dotazů, získání detailního pohledu).
- Myšlení nahlas (expert popisuje svá myšlenkové pochody a chování při řešení problému).
- Pokus o řešení problému pod dohledem experta s cílem vcítit se do jeho myšlenkových pochodů.
- Metoda repertoárové tabulky - sloupce této tabulky odpovídají objektům z dané oblasti a řádky odpovídají tzv. konstruktům. Každý konstrukt je tvořen dvěma mezními (nejlépe protikladnými) vlastnostmi objektů. Políčka tabulky obsahují číselná ohodnocení příslušnosti objektu k jednomu či druhému pólu.

Při práci s experty je třeba se vyrovnat s řadou problémů. Jedním z nich je známý paradox znalostního inženýrství: Čím více se experti stávají kompetentními, tím méně jsou schopni popsat znalost, kterou používají při řešení problémů. Další možné problémy vyplývají z následujícího přehledu typů problémových expertů [DVOŘÁK, J. 2004]:

- expert obávající se ztráty postavení po zavedení ES,
- cynický expert,
- velekněz oboru,
- paternalistický expert,
- nekomunikativní expert,
- lhostejný expert,
- pseudovzdělanec v umělé inteligenci.

5 Historie a aplikace expertních systémů

Prakticky ihned po zkonstruování prvních počítačů vyplynula na povrch podobnost jejich práce s předpokládanými postupy intelektuální činnosti člověka při řešení úloh. Ukázalo se, že znalosti je možné chápat jako drobné procedury pracující s velmi specifickými (a s těmito procedurami velmi úzce spojenými) údaji. Našly se i dostatečně účinné prostředky, jak takto chápané znalosti reprezentovat v pamětech počítačů. Postupně se začalo v laboratořích experimentovat s takovými systémy, v jejichž pamětech se poměr mezi počtem údajů a procedur, které s nimi pracují, začal snižovat. Tím se tyto systémy vzdalovaly od poměru, který charakterizoval dosud známé informační a databázové systémy. Novým systémům se začalo říkat znalostní systémy. Časem se ukázala jejich praktická zajímavost. Začaly se vytvářet pro poměrně úzké oblasti profesionálních aktivit a zdokonalovaly se i možnosti, které poskytly uživatelům. Povaha jejich činnosti se stále víc přibližovala k tomu, co vykonávají specialisti nebo experti. Začaly se objevovat první expertní systémy a nové technologie postavené na bázi znalostních a expertních systémů - znalostní technologie [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002].

Historii expertních systémů lze rozdělit do čtyř etap [CELBOVÁ, I. 1999]:

1. Počáteční etapa (období let 1965-1970) - systémy DENDRAL, MACSYMA.
2. Etapa výzkumných prototypů (období let 1970-1975) - systémy MYCIN, PROSPECTOR, HEARSAY-II.
3. Etapa experimentálního nasazování (období let 1975-1981) - systémy PUFF, SACON, ONCOCIN, HEADMED, CLOT, AL/X, HASP, INTERNIST, CADUCEUS.
4. Etapa komerčně dostupných systémů (od roku 1981) - systémy XCON, XSEL, DIPMETER, ADVISOR.

Při charakteristice vývoje expertních systémů se také hovoří o dvou generacích [DVOŘÁK, J. 2004]:

I. generace ES, jejímiž charakteristickými rysy jsou:

- jeden způsob reprezentace znalostí,
- malé schopnosti vysvětlování,
- znalosti pouze od expertů.

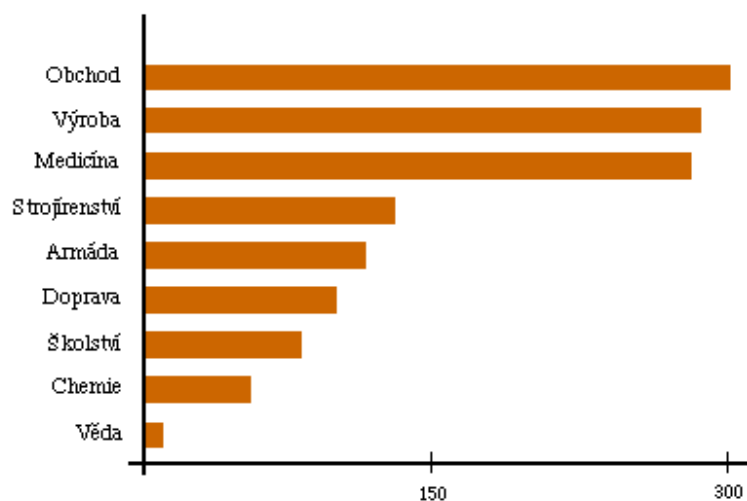
II. generace ES s následujícími charakteristikami:

- modulární a víceúrovňová báze znalostí,
- hybridní reprezentace znalostí,
- zlepšení vysvětlovacího mechanismu,
- prostředky pro automatizované získávání znalostí.

V rámci II. generace ES se také objevují hybridní systémy, v nichž se klasické paradigma expertních systémů kombinuje s dalšími přístupy, jako jsou neuronové sítě a evoluční metody.

Obrázek 4 ukazuje počet vyvinutých expertních systémů ve vybraných oblastech. Tyto údaje z let 1980 až 1992 ukazují dominantní postavení obchodu a výroby. Použitelnost znalostních technologií prakticky ve všech oblastech lidské činnosti a jejich ekonomická výhodnost předurčuje znalostním technologiím velmi slibnou budoucnost [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002].

Obrázek 4: Graf počtu vyvinutých expertních systémů ve vybraných oblastech v období let 1980 – 1992. Převzato z [ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002].



5.1 Aplikace expertních systémů

Aby mělo smysl použít expertní systém pro řešení nějakého problému, musejí být podle [DVOŘÁK, J. 2004] splněny následující dvě podmínky:

- musí se jednat o problém složitý rozsahem nebo neurčitostí vztahů, pro který není exaktní metoda řešení buď k dispozici, nebo není schopna poskytnout řešení v požadované době,
- efekty plynoucí z použití expertního systému musejí převyšovat vynaložené náklady. To znamená, že by mělo jít o problém s opakovanou potřebou řešení a značnými finančními dopady, pro který jsou lidští experti drazí nebo omezeně dostupní.

5.1.1 Kategorie způsobů použití expertních systémů

Typické kategorie způsobů použití (využití) expertních systémů jsou následující [BERKA,P. 2004], [DVOŘÁK, J. 2004]:

- Konfigurace - sestavení vhodných komponent systému vhodným způsobem.
- Diagnostika - zjištění příčin nesprávného fungování systému na základě výsledků pozorování.
- Interpretace - vysvětlení pozorovaných dat.
- Monitorování - posouzení chování systému na základě porovnání pozorovaných dat s očekávanými.
- Plánování - stanovení posloupnosti činností pro dosažení požadovaného výsledku.
- Prognózování - předpovídání pravděpodobných důsledků zadaných situací.
- Ladění - sestavení předpisu pro odstranění poruch systému.
- Řízení - regulace procesů (může zahrnovat interpretaci, diagnostiku, monitorování, plánování, prognózování a ladění).
- Učení - inteligentní výuka, při níž studenti mohou klást otázky např. typu proč, jak, co kdyby.

6 **Vojenské a bezpečnostní aplikace expertních systémů**

Navýšení komplexnosti vojenských systémů a vzrůstající počet integrovaných informací vytvářejí bezpočetné problémy pro oblast vojenství. Velitelé a řídicí pracovníci musí vytvářet svá rozhodnutí mnohem rychleji než kdykoliv předtím a udržovat operační připravenost navzdory omezením lidské síly a výcviku. Umělá inteligence pomocí expertních systémů může potenciálně mnoho těchto problémů efektivně řešit, a to jak z pohledu časového, tak materiálního hlediska. Expertní a znalostní systémy se prakticky vyskytují ve všech složkách ozbrojených sil (pozemní, vzdušné a námořní síly). Jednotlivé aplikace slouží pro podporu rozhodovacích procesů různých stupňů velení a řízení, jsou nápomocny při řešení různých technických a odborných problémů při provozu vojenské techniky a zařízeních v bojovém či výcvikovém využití.

Potřeba okamžitých rozhodnutí pro implementaci bezpečnostních a ochranných opatření narůstá. Především bezpečnostní komunita je na těchto faktorech závislá. Aplikace expertních systémů mohou navýšit schopnost entit bezpečnostního sektoru v rovině včasné, věcné a adekvátní reakce na vyvstalé problematické aspekty. Zpravodajské, policejní nebo soukromé složky a agentury jsou právě uživateli aplikací expertních systémů, které pokrývají například problematiku družicových komunikačních systémů či ochrany proti následkům výbuchů v zastavěných oblastech. Potřeby bezpečnostního sektoru (i privátního) jsou v některých aspektech v mnohém společné s armádními potřebami, ne-li totožné. Je možné uvažovat, že požadavky kladené na některé expertní systémy budou totožné a vzájemně propojené. Možné současné bezpečnostní hrozby vycházející například z asymetrických hrozeb a asymetrického boje tomuto trendu napomáhají.

V tabulce 4 je uvedený přehled celkem 20 aplikací ES spadajících do vojenských a bezpečnostních oblastí (seřazeno v abecedním pořadí). Aplikace jsou rozděleny na základě příslušnosti k dané vojenské oblasti (složce) jako jsou pozemní síly, vzdušné síly, námořní síly, vševojskové síly a bezpečnost (ochrana). Popisem jednotlivých ES se zabývají následující podkapitoly, přičemž detailnější popis vybraných ES je uveden v kapitole 7. Je nutné zmínit, že charakteristika těchto systémů se liší co do rozsahu, jenž se odvíjí od dostupnosti literatury, která je v tomto případě limitujícím prvkem.

Tabulka 4: Přehled vybraných vojenských a bezpečnostních aplikací ES.

DRUH VOJSKA	NÁZEV	POPIS
Pozemní síly	ADRIES	Podpora velitelského rozhodovacího procesu. Zpracování a vyhodnocení informací týkající se bojiště na základě interpretace radarových snímků.
	ESROC	Oblasti projektování a výstavby střešních konstrukcí vojenských objektů.
	KBGIS	Geografická podpora rozhodovacího procesu - analýza terénu.
	PRIDE	Hodnocení systémové chybovosti radiolokátoru protiletadlového raketového prostředku HAWK.
	TED	Diagnostika a kontrola turbíny AGT-1500 motoru tanku M1 Abrams.
Vzdušné síly	AIRID	Identifikace letadel.
	LES	Chybová diagnostika elektronických systémů.
	TATR	Podpora skupiny Targetingu štábního taktického stupně.
Námořní síly	BATTLE	Vyhodnocování plánů rozmístění zbraňových systémů a rozpoznávání plavidel.
	SIAMES	Vyhodnocování charakteru a stavu počasí (oblačnosti) na základě satelitních snímků.
Vševojsková oblast	AI-EOD	Podpora při identifikaci munice.
	CEMES	Prvek bojové předsunuté lékařské pomoci, pro automatickou diagnózu a léčbu hemoragického šoku.
	GTEX	Podpora při diagnostikování chybovosti dat pozemního digitálního komunikačního terminálu VSAT.

DRUH VOJSKA	NÁZEV	POPIS
	MBEES	Kalkulace a zhodnocení následků výbuchů munice a improvizovaných výbušných zařízení na objekty a osoby.
	MCTA	Podpora řešení problémů při využívání komunikačních prostředků.
	SEAT	Analýza použití zbraňových systémů v různých variantách (vývoje) bojové činnosti.
Bezpečnostní oblast	DOC-EXPLOIT³	Vyhodnocování neanglicky psaných dokumentů.
	EPS - APES	Monitorování telemetrií družic a vykonávání procedurální složky řízení.
	FRIEND – FOE / FIRE DECISION⁴	Rozhodnutí o provedení střelby na cizí (nepřátelský cíl) společně s rozpoznáváním a identifikací vlastních a cizích jednotek, materiálu a výzbroje na bojišti.
	SEC	Podpora standardních operačních postupů v oblasti bezpečnosti.

³ Nejedná se o skutečný název ES. Název DOC - EXPLOIT zvolen pouze pro potřeby této práce. Skutečný název zní: Decision-Support Expert System and Methods for Real-Time Exploitation of Document in Non-English Languages.

⁴ Nejedná se o skutečný název ES. Název FRIEND – FOE / FIRE DECISION zvolen pouze pro potřeby této práce. Skutečný název zní: Friends or Foe Detection System and Method and Expert System Military Action Advisory System and Method.

6.1 Pozemní síly

6.1.1 ADRIES

ES ADRIES (Advanced Digital Radar Imagery Exploitation System) je systém pro extrakci informací z radarových snímků pro potřeby rozhodovacího procesu velitelů, zpracování zpravodajských informací nebo klasického rozpoznávání cílů. Znalostní základnou ADRIES je tvořen informacemi o organizačních strukturách vojenských jednotek a jejich rozmístění na bojišti. Na základě těchto znalostí, znalostí terénu a procesu bayesovského modelu rozhodování pak dochází k potvrzení či vyvrácení přítomnosti vojenských uskupení a determinaci jejich organizačních typů (pluk, prapor, baterie, rota, četa, jednotlivý kus techniky). To vše samozřejmě probíhá na základě vyhodnocení informací z radarových snímků daného zájmového prostoru cílů [FRANKLIN, J., et al. 1988]. Podrobnější popis systému ADRIES je uveden v kapitole 7.1.

6.1.2 ESROC

ESROC (Expert System for Roof Construction) byl vytvářen pro potřeby ženijního vojska USA. Důvodem vývoje systému bylo zvýšení kvality prací související s výstavbou vojenských objektů a potřeba efektivního školícího a poradního nástroje pro ženijní speciality v oblasti projektování a výstavby střešních konstrukcí. ESROC využívá programové prostředí CESSP (Critic Expert System Shell Program), jenž zpřístupňuje bázi znalostí a informace zadané od uživatele, které posléze vyhodnocuje a poskytuje varianty řešení. V době svého vývoje (rok 1992) se jednalo pouze o zkušební verzi systému, s tím že na základě testovacích fází dojde k jeho nasazení u jednotek. V této fázi si uživatelé především pochvalovali existenci efektivního grafického módu [LAWRENCE, D., et al. 1992]. V současné době nejsou dostupné informace, jež by potvrzovaly jeho operační nasazení a dlouhodobé využívání.

6.1.3 KBGIS

KBGIS (Knowledge Based Geographical Information System), je znalostní/expertní systém pokrývající oblast geografického (geoprostorového) využití. Systém je tvořen čtyřmi základními moduly, kterými jsou uživatelské rozhraní, databázový modul, analytický a

dotazovací modul a modul generující hlášení a konečné zobrazení. Systém pracuje na programové platformě ArcView od společnosti ESRI nebo Erdas Imagine od společnosti LEICA[Gebreslasie, G. 2009].

KBGIS je začleněn v plánovacím procesu vedení a řízení bojové činnosti. Konkrétně se jedná o geografickou podporu rozhodovacího procesu týkající se vyhodnocení vojensko - geografických aspektů. V rámci tohoto procesu systém řeší například úkoly týkající se výběru míst pro stavbu mostních konstrukcí, výběru míst pro přistání vrtulníků, vyhodnocení takticky vhodných tras přesunu nebo vyhodnocení možností přesunu [BAIJAL, R., et al. 2002].

Znalostní základna systému je tvořena geoprostorovými informacemi, které jsou získávány ze satelitních, leteckých a pozemních optoelektronických snímků a mapových podkladů. Získání těchto znalostí se děje buď automaticky nebo "ručně" a to digitalizací jednotlivých geoprostorových prvků (most, brod, silnice aj). Ke každému z těchto prvků náleží atributová tabulka, kde jsou uloženy vlastnosti prvku dávající v konečném důsledku jeho parametry, jež jsou použity v rámci jednotlivých pravidel ES. Taktéž jsou zahrnuty zkušenosti lidských expertů. V případě, že je znalostní základna naplněna jsou pro každou skupinu prvků vytvořeny jednotlivé vrstvy (tzv. vrstvy pokrytí). Na základě informací z těchto vrstev s vazbou na údaje obsažené v atributových tabulkách se provádí jednotlivé inferenční procedury (pravidla) podle vybrané řešené úlohy. Po dokončení provedení pravidla je výsledek reprezentován geoprostorovou tematickou vrstvou zobrazující vyhodnocená vhodná (pravděpodobná) místa například pro stavbu mostní konstrukce přes vodní překážku. Podrobnější popis systému KBGIS je uveden v kapitole 7.3.

6.1.4 PRIDE

Systém se jmenuje Pulse Radar Intelligent Diagnostic Environment (PRIDE) a slouží k hodnocení systémové chybovosti pulzního radiolokátoru protiletadlového raketového prostředku HAWK společně s nalezením adekvátního postupu řešení vedoucího k odstranění problému. Systém může být využit jak v rámci každodenní činnosti, tak pro výcvikové účely. Báze znalostí je naplněná konkrétními znalostmi techniků a velitelů, kteří na prostředku HAWK pracují. V literatuře se uvádí kolokace, že PRIDE byl vytvořen "vojáky pro vojáky". Systém pracuje s pěti hlavními chybami radiolokátoru a více než 300 pravidly, porovnává technické manuály se znalostní databází nad nimiž vytváří své závěry. Operační nasazení PRIDE mělo být zahájeno počátkem roku 1991 [KELLER, B., et al. 1990].

6.1.5 TED

System TED (Turbine Engine Diagnostic) byl vyvinut vojenskou výzkumnou laboratoří USA. Hlavním cílem systému je odborná asistence při kontrole motoru tanku M1 Abrams a jeho turbíny AGT-1500 společně s diagnostikovaním vzniklých problémů a návrhů jejich řešení. Z hlediska uživatelského rozhraní je hlavní menu TED tvořeno třemi základními moduly a dvěma speciálními aplikacemi. První modul poskytuje hlavní diagnostickou a údržbovou expertízu turbíny. Druhý modul umožňuje automatické prověřování elektrických signálů od motoru. Třetí modul obsahuje technické informace o motoru, schémata součástí a jejich seznamy. Programové aplikace mají výukové a administrativní funkce [PINCOSKI, M. 1996].

6.2 Vzdušné síly

6.2.1 AIRID

Jedná se o ES vyvinutý na počátku 80 let 20. století v laboratořích Los Alamos (USA) a vycházejícího z procedur ES Prospector. Hlavní činností AIRD (Air Identification) je identifikace letadel, jež se provádí porovnáním tvaru a velikosti křídel, pozic a počtu motorů, tvaru trupU a konfigurací ocasních ploch. V databázi jsou uloženy všechny typy stíhacích letadel ruské a americké produkce. AIRID by měl pravděpodobně sloužit jako zástupce, nebo expertní pomocník vzdušného pozorovatele v rámci struktur pozemních či prvků protivzdušné obrany [ALDRIDGE, J. 1984].

6.2.2 LES

LES (The Lockheed Expert System) je systém vyvinutý společností Lockheed, jehož cílem je asistence při údržbě elektronických systémů v oblasti chybové diagnostiky s cílem rychlého nalezení izolované chyby v rámci rozsáhlého systému. Báze znalostí je tvořená nejen zkušenostmi expertů zabývajících se diagnostikovaním elektronických systémů (pravidlová reprezentace znalostí), ale také informacemi týkajícími se struktury a funkce jednotlivých zařízení. Tyto znalosti umožňují komplexní pokrytí problematiky detekce prvků, modulů,

oblastí apod. způsobujících chyby v systémech. Součástí LES je rovněž vysvětlující rozhraní poskytující uživateli informace o způsobu odvozování [LAFHEY, T. , et al. 1984].

I když systém LES neřeší specifickou vojenskou nebo bezpečnostní problematiku, byl vybrán proto, že společnost Lockheed je dodavatelem svých výrobků nejen pro vzdušné síly (například letouny A-10, C-130, C-5, F-16, F-22, F35, U-2), ale do i celého spektra využití pozemních a námořních sil (například řízené střely HELLFIRE, pozemní obrněné vozidlo HAVOC, nebo bezpilotní podvodní plavidlo MARLIN) [LOCKHEED MARTIN. 2012].

6.2.3 TATR

TATR (Tactical Air Target Recommender) vyvinutý společností RAND (USA) je systém určený pro potřeby velitelských štábů na taktickém stupni leteckých jednotek. Hlavním úkolem je napomáhání při činnosti příslušníků skupin targetingu. Targeting je činnost spojená s vyhodnocováním cílů protivníka za účelem potlačení jeho bojových schopností. V tomto případě se jedná o cíle související s leteckými základnami (rozmístění a druhy techniky, infrastruktura, logistická podpora apod.). Báze znalostí je tvořena zkušenostmi analytiků provádějících vyhodnocování cílů. Na základě těchto znalostí TATR poskytuje výsledky o cílech na protivníkově letecké základně týkající se prioritního seznamu letecké techniky a důležité infrastruktury pro zničení a zároveň provádí výběr druhů zbraňových systémů pro efektivní zničení doporučených cílů [CALLERO, M., et al. 1984].

Proces výběru zbraní se též nazývá termínem Weaponering, kdy se podle druhu cíle, jako je například mostní konstrukce, provádí zbraňová konfigurace letounu, tak aby například došlo k dočasnému porušení (vyřazení) mostu a ne k jeho zničení. Toto je důležité v případě, že existuje nutnost pozdějšího využití mostu pro případ postupu vlastních vojsk.

6.3 Námořní síly

6.3.1 BATTLE

ES BATTLE byl vyvinut pro potřeby námořní pěchoty USA. Systém plní dvě oddělené funkce, kterými jsou vyhodnocování plánu rozmístění zbraňových systémů a rozpoznávání námořních plavidel. BATTLE vyhodnocuje efektivitu jak jednotlivých, tak

všech zbraní podle uvažovaných cílů. Cílem systému je maximalizovat účinnost zbraňových systémů v závislosti na požadavku zničení (destrukci) všech cílů. Funkce rozpoznávání námořních plavidel má za úkol pomoci lidským operátorům při samotné identifikaci plavidel, zejména za ztížených podmínek plynoucích například z velkého počtu hladinových cílů nebo různých úhlů záběrů na cíle. Znalostní základna je vybudována na základě zkušenostní analytiků vyhodnocování plavidel z Obrazových snímků. Jsou zde začleněny všechny rozpoznávací a vyhodnocovací techniky, jako je například pozice zbraňových systémů, anténních prvků, můstků, stožárů apod. ES komunikuje s operátorem formou otázek na existenci jednotlivých vyhodnocovacích prvků (pozice anténního stožáru a hlavní nadstavby s kapitánským můstkem). Podle zadaných odpovědí (vzájemné komunikace) posléze doporučí závěr operátorovi o jakou třídu a typ plavidla se jedná. [FRANKLIN, J., et al. 1988]. Podrobnější popis systému BATTLE je uveden v kapitole 7.2.

6.3.2 SIAMES

Dalším systémem využívaným pro potřeby námořních sil je SIAMES (Satellite Image Analysis Meteorological Expert System), jenž byl vytvořen s cílem snížení dopadu vlivu počasí na plánování a vedení námořních operací. [FETT, W., et al. 1997]. Je podpůrným (poradním) nástrojem pro vyhodnocování charakteru a stavu počasí (oblačnosti), jenž je pozorován na satelitních snímcích.

Proto, abychom mohli SIAMES podrobněji popsat je důležité zmínit některé pojmy a faktory, které s ním úzce souvisí. Zejména se jedná o systém 11 publikací NTAG (Navy Tactical Application Guide) sloužící jako hlavní informační podpora (informační zdroj) týkající se vyhodnocování klimatických změn (změn počasí) na základě satelitních snímků a určených pro potřeby jak štábních prvků dislokovaných jak na moři, tak na pevnině. Sbírkou NTAG obsahuje oceánografické a atmosférické informace podpořené satelitními snímky s celosvětovým pokrytím. Protože byla ale NTAG dostupná pouze v tištěné podobě, byl vytvořen projekt s názvem LaserTAG, jenž je jakousi digitální verzí, obsahují navíc programové rozhraní pro snadné prohlížení a vyhledávání veškerých dat ze sbírky NTAG. I přesto, že pomocí NTAG byly již informace rychleji dostupné, stále to nebylo dostačující z hlediska efektivního vyhodnocování meteorologických dat pocházejících z velkého geografického prostoru a následné informační podpory rozhodovacího procesu. V souvislosti s tímto nárokem byl vytvořen systém SIAMES.

Jedná se o pravidlový expertní systém se strategií zpětného řetězení. Báze znalostí je tvořená jak informacemi obsažených ve sbírce NTAG, tak zkušenostmi expertů se samotným vyhodnocováním satelitních snímků pokrývající jak viditelnou, tak infračervenou část elektromagnetického spektra. Uživatel (analytik) je postupně dotazován sérií otázek, vždy vztažených k danému informačnímu problému (například na informace ohledně struktury mraků vyhodnocené ze satelitního snímku). Systém poskytuje metodologii, jakým způsobem analyzovat informace z daného snímku (tj. co například znamená pro vývoj počasí existence meteorologického útvaru apod.).

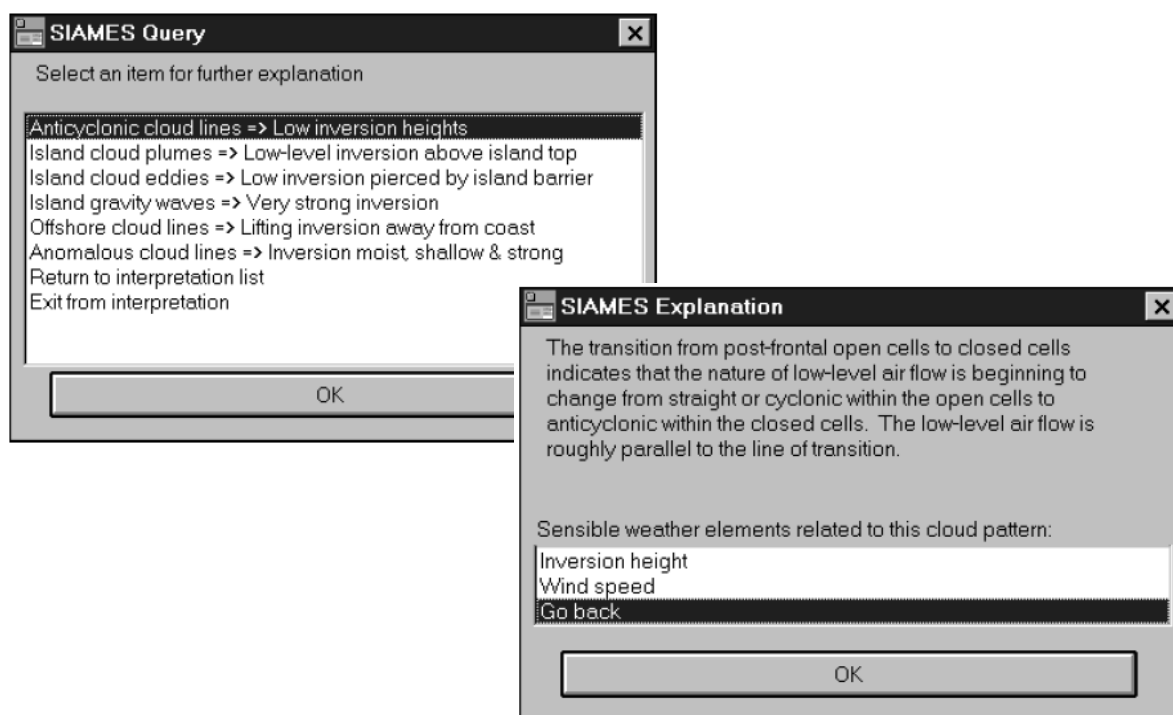
Na začátku musí uživatel definovat geografickou polohu a meteorologické podmínky v zájmovém prostoru. Poté systém přechází již k analýze snímku položením otázek na existenci konkrétní situace oblačnosti - specifikace útvaru (v případě potřeby je možné využít nápovědu v podobě praktických ukázek satelitních snímků). Uživatel vybírá volbu ze základní skupiny 11 prvků charakterizujících počasí (Weather Element), kterou má k dispozici. Každé skupině přísluší daný počet pravidel pro následné řešení - celkový počet pravidel je 261 (viz. tabulka 5). SIAMES poté vybere a vykoná příslušné pravidlo a vyzve uživatele k vyhledání (specifikace) dalších ukazatelů tak, aby dostal co nejvíce informací a mohl uživateli poskytnout nepřesnější analýzu. Po dokončení tohoto procesu jsou uživateli selektivně k dispozici jednotlivé závěry. Na obrázku 5 je uveden příklad závěrů týkající se analýzy podmínek inverze. V dalším kroku systém uživateli nabízí následné vysvětlení vybraného závěru. Na obrázku 5 je taktéž zobrazen příklad vysvětlujícího formuláře týkající se analýzy podmínek směru větru za frontálním útvarem. Uživatel má dále možnost zvolit mezi dalšími prvky počasí (Wind speed, Inversion height).

Tabulka 5: Seznam 11 prvků charakterizujících počasí a přidělená pravidla. Podle [FETT, W., et al. 1997]

Prvek počasí (Weather Element)	Počet pravidel (Number of rules)
Teplota vzduchu (Air Temperature)	9
Prašnost (Dust)	9
Inverze (Inversion)	25
Vlhkost (Moisture)	12
Stav moře (Sea State)	31
Stabilita (Stability)	17

Turbulence (Turbulence)	41
Vertikální pohyb (Vertical Motion)	25
Viditelnost (Visibility)	7
Směr větru (Wind Directio)	50
Rychlost větru (Wind Speed)	35
Celkem	261

Obrázek 5: Příklad závěrů týkající se analýzy podmínek inverze a vysvětlujícího formuláře týkající se analýzy podmínek směru větru za frontálním útvarem. Převzato z [FETT, W., et al. 1997].



6.4 Vševojsková oblast

6.4.1 AI-EOD

AI-EOD (Artificial Intelligence for Explosive Ordnance Disposal System) je systém určený pro podporu pyrotechnických složek v oblasti identifikace munice. Báze dat a znalostí tvoří informace o dostupné munici, trhavinách, výbušných zařízeních (včetně nástražných)

apod., společně se znalostmi lidských expertů týkajících se druhů výskytu munice v terénu, jejich modifikací, neobvyklých kombinačních řešeních nástražných systémů a taktéž způsobů zneškodňování nalezené munice. Potřeba vývoje systému vyplynula z nedostatečného počtu odborníků na EOD oblast v závislosti na celkovém nahlášeném počtu případů výskytu EOD. Systém není uvažovaný jako adekvátní náhrada odborníka, ale spíše jako nástroj pro efektivní školení jak EOD, tak i ne EOD personálu [MADRID, R., et al. 1992].

6.4.2 CEMES

Jako jediný zástupce ES v této práci pokrývající oblast vojenského zdravotnictví je systém CEMES (The Combat Emergency Medicine Expert System). Jedná se o systém umožňující automatickou diagnózu a léčbu hemoragického šoku. CEMES má sloužit jako jakýsi prvek předsunuté lékařské pomoci, pracující automaticky po vykonání první pomoci zdravotníkem nebo lékařem. Systém monitoruje vitální funkce skrz neinvazivní senzory a určuje diagnózu s následnou analýzou stavu. Analyzuje mediální vývoj na základě diagnostických a vitálních změn a oba varuje a chrání proti katastrofálnímu nebo postupnému zhoršení zdravotního stavu zraněné osoby (pacienta). CEMES poskytuje rady personálu ohledně inicializace intravenózního podání nebo dávkování léků a automaticky řídí intravenózní infuze a periodické nebo postupné dávkování léků na základě aktuální diagnózy, nebo vývoje zdravotního stavu. Systém uchovává kompletní diagnostickou a léčebnou historii pro následné lékařské využití ve zdravotnickém zařízení. CEMES také monitoruje svůj vlastní logistický stav, například sleduje hodnoty zásob intravenózních infuzí a požaduje případné doplnění. [LANDON, E, et al. 1988].

6.4.3 GTEX

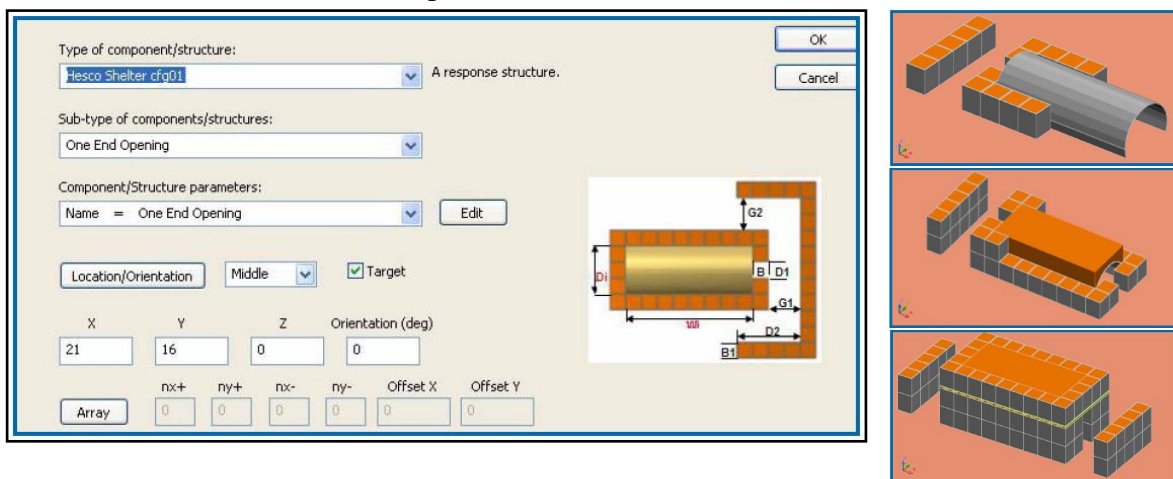
GTEX (Ground Terminal Expert) je systém, jenž má za úkol pomoci při detekování a diagnostikování chybovosti dat pozemního digitálního komunikačního terminálu VSAT (Very Small Aperture Terminal). Činnost systému má vliv na zvýšení schopností VSAT v rovině zvýšení spolehlivosti terminálu a v rovině snížení potřebného času na samotnou údržbu. GTEX je schopný v případě nalezení chyby izolovat příčinu a doporučit požadovanou nápravu. Interakce se skládá z uživatelských reakcí a vstupů z báze dat [SCHLEGELMILCH, R., et al. 1991].

6.4.4 MBEES

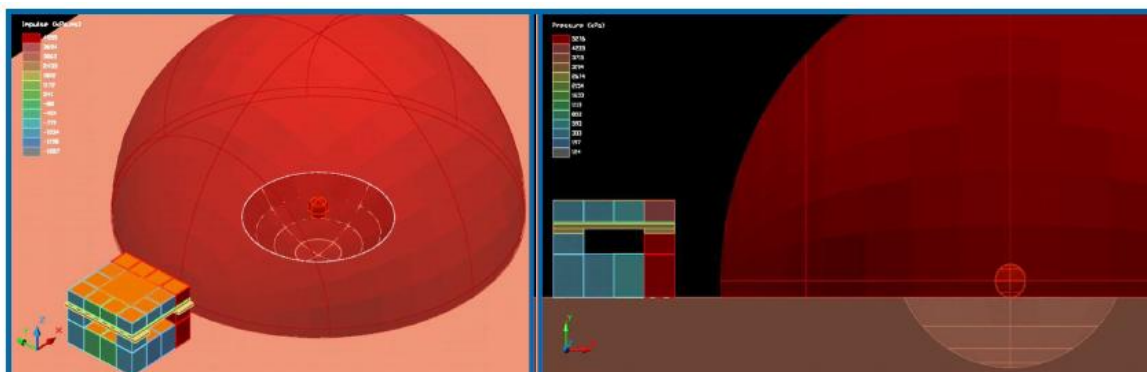
Military Blast Effect Expert System (ve zkratce MBEES) je ES jehož hlavní náplní je provádět kalkulace a zhodnocení následků výbuchů munice nebo improvizovaných výbušných zařízení na objekty a osoby. Systém je možné využít především při návrhu objektů a zařízení v procesu výstavby nasaditelných prostředků, ochrany živé síly a materiálních prostředků nasazených jednotek. Výrobce je kanadská společnost TimeScales Scientific Ltd, která při vývoji systému využila 20 leté zkušenosti expertů, především pyrotechnických a ženíjných oborů. Programové prostředí ES je modifikovaná verze SW AutoCad, který je hlavní komunikační rozhraní [Defence Research and Development Canada. 2006].

Pro uživatelský návrh existuje knihovna struktur objektů, skupin objektů a databáze hrozeb (volba typu ohrožení). Postupnými kroky je možné vytvořit co nejkompexnější návrh požadovaného objektu (struktury). Je možné si provádět volby v závislosti na typu a tvaru konstrukce, orientace apod. (viz. obrázek 6.) Virtuální poradce (nahrazuje skutečného experta) poté podá v grafické a textové podobě výsledek (hodnocení) daného uživatelského návrhu, který je uveden na obrázku 7. V tomto výsledku jsou vypočtena zranitelná místa, stupně ohrožení, ukazatele deformace objektu, působení tlakové vlny, či velikost kráteru ve vztahu k uvažované hrozbě (druh a typ nálože, rakety apod.). Na základě těchto hodnot posléze uživatel může provést přehodnocení návrhu, či vytvoření jiného tak, aby odpovídal bezpečnostním parametrům a podmínkám, ve kterých má být využíván [Defence Research and Development Canada. 2006].

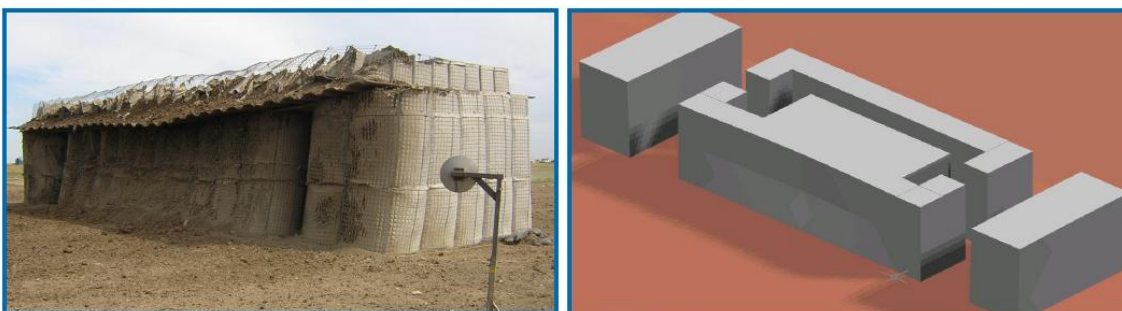
Obrázek 6: Ukázka postupu návrhu požadované struktury (volba parametrů objektu). Převzato z [Defence Research and Development Canada. 2006].



Obrázek 7: Grafické znázornění vyhodnocení zranitelných míst posuzovaného objektu. Převzato z [Defence Research and Development Canada. 2006].



Obrázek 8: Navržená struktura pomocí MBEES a ukázka praktického testu odolnosti. Převzato z [Defence Research and Development Canada. 2006].



Výhodou MBEES je zajisté personální efektivita, především v rovině násobení nedostatečného počtu lidských expertů z ženiných odborností, či v rovině absencí těchto expertů z důvodu úmrtí při bojové činnosti. Dalším důležitým faktorem je rychlost výpočtu a kalkulace konečného rozhodnutí. Z výše uvedeného vyplývá možnost efektivní výstavby základny jako celku (budovy, prostředky) z hlediska optimalizace ohrožení živé síly a materiálního zabezpečení.

6.4.5 MCTA

MCTA (Military Communication Troubleshooting Aid), jedná se o ES, jehož cílem je podpora a asistence při řešení problémů při využívání vojenských komunikačních prostředků. Programová platforma je vytvořena v prostředí Turbo Prolog. Uživatel je postupně dotazován na řadu otázek v logickém pořadí a na základě odpovědi poté systém provede identifikaci daného problému s následným doporučením jeho řešení. Systém je určen pro úroveň

spojovacích praporů nebo čet, zejména také jako off-line učící nástroj pro nezkušené či nově příchozí příslušníky [MACHAMER, L. 1992].

6.4.6 SEAT

SEAT (Strategic Engagement Analysis Tool) je ES systém vyvinutý v laboratořích Los Alamos (USA), jehož hlavním cílem je vytvářet (simulovat) použití (využití) zbraňových systémů v různých scénářích (variantách) vývoje bojové situace [DREICER, J. 1988]. Systém má schopnosti kognitivního rozhodování s cílem poskytnout co nejrealističtější schopnosti strategického rozhodování. Systém byl vyvinut na základě prázdného ES Knowledge Engineering Environment (KEE). Klíčovým prvkem je simulování efektivity SRT (Strategic Relocable Target), což je mobilní nepřátelský cíl. Schopnost systému ovlivnit tuto efektivitu je závislá na možnostech (schopnostech) detekce a ničení (zničení) daného SRT.

Znalostní základna SEAT je funkčně rozdělena na dvě skupiny:

1. Skupina "Hráči (Actors)" - disponují chováním, kognitivními schopnostmi, fyzickými prostředky a atributy. Patří sem vlastní (Blue) prvky velení, řízení a komunikace (C3 – Command, Control and Communication), letouny, satelity a prostředky získávání informací o cílech (Target Acquisition). Dále prostředky nepřítel (Red) v síle baterií (každá baterie obsahuje tři odpalovací zařízení a velitelské stanoviště) a pluk C3.
2. Skupina Entity - mají pouze fyzické prostředky a atributy. Skupinu tvoří informace o prostředí, terénu a zbraňových systémech.

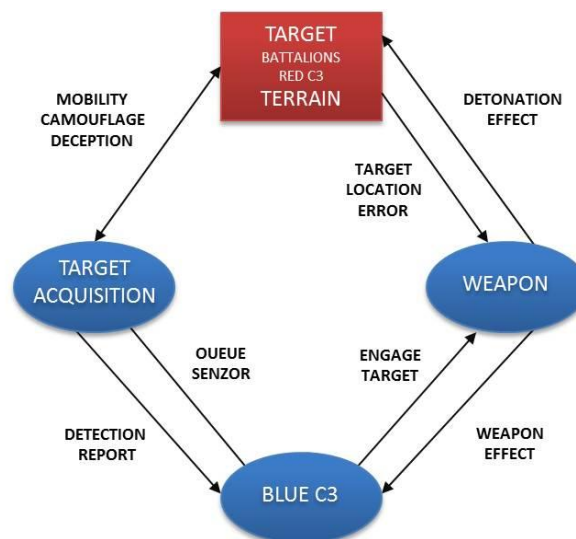
Kognitivní schopnosti vlastních prostředků C3 závisí na obsahu informací (zpráv) přicházejících z prostředků získávání informací o cílech (Target Acquisition). Výsledkem navazujícího rozhodnutí může být zničení cíle, pokračování v jeho sledování či ponechání tzv. normálního stavu, tj. bez informace o cíli. Dalšími faktory ovlivňujícími rozhodnutí vlastních prostředků C3 je počet a obsah minulých a současných hlášení o detekci cílů, časová perioda mezi pozorováním a nahlášením cíle či informace o předcházejících vydaných rozhodnutích.

Prostředky získávání informací o cílech (Target Acquisition) obsahují například informace týkající se letových tras nebo rychlostech letadel. Na základě pozorování a detekce SRT jsou poté posílány informace vlastním prostředkům C3. Vlastnosti chování prostředků C3 protivníka (Red) spočívají ve schopnostech vzájemné komunikace a mobility praporů. Mezi fyzické prvky a atributy patří například zranitelnost, vzdálenostní charakteristiky nebo

rychlost přepravy. Mezi kognitivní schopnosti patří pravidla přesunu jednotek a výzbroje, které jsou využity při generování rozkazu pro přesun praporu. Entity terénu a prostředí jsou tvořeny informacemi o souřadnicovém systému a komunikační (silniční) síti, jež slouží jako informační podklad jak pro jednotlivé cíle, tak pro prvky získávání informací o cílech (Target Acquisition). Entita zbraní obsahuje fyzické prvky a atributy týkající se letového času a času inicializace ve vztahu k prostředkům doručení samotné zbraně, tak reaktivních prvků (hlavice). Entita posílá informace o účinnosti konkrétní zbraňové konfigurace oběma prvkům C3 (vlastní, cizí) pro následné hodnocení činnosti. SEAT nabízí dva režimy zobrazení výsledků a to grafický a textový, jenž se informačně doplňují (je možné je zobrazit nezávisle na sobě). Uživatel si taktéž může upravovat simulující události v rámci časové osy.

Vazby jednotlivých podsystémů SEAT jsou znázorněny na obrázku 9. Ve stručném pojetí je proces následující: Prostředky získávání informací o cíli "Target Acquisition" získají informace o protivníkově poloze "Red C3", které jsou posléze poslány na místo velení a řízení vlastních sil "Blue C3". Zde proběhne vyhodnocení informace (s možností vyčkání či opětovné na potvrzení/získání informací z Target Acquisition) a dojde k vydání úkolu zbraňovým systémům "Weapon". Po nasazení těchto systémů je provedeno vyhodnocení efektivnosti zničení cíle (jak z pohledu efektivity vlastních sil, tak z pohledu dopadu na protivníka), které posléze dále ovlivňuje rozhodovací proces "Blue C3". V samotném cyklu jsou věrohodně simulovány skutečné situace, jako je mobilita protivníka, jeho opatření proti odhalení (maskování, klamné postavení) apod.

Obrázek 9: Vazby funkcí systému SEAT. Podle [DREICER, J. 1988].

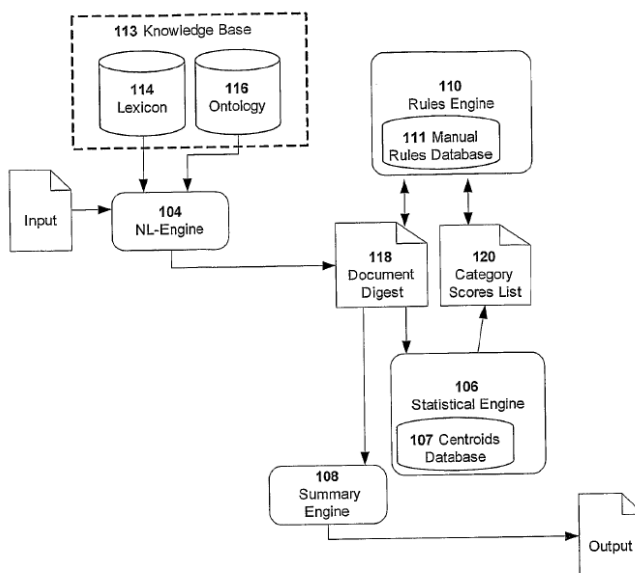


6.5 Bezpečnostní oblast

6.5.1 DOC - EXPLOIT

Patent vydaný v roce 2006, který se týká ES umožňující v reálném vyhodnocení neanglicky psaného dokumentu. Plný název patentu zní: Decision-Support Expert System and Methods for Real-Time Exploitation of Document in Non-English Languages (Expertní systém pro podporu rozhodovacího procesu - vyhodnocování neanglicky psaných dokumentů). Systém může být svojí náplní využíván pro potřeby komplexní bezpečnostní komunity, jako jsou zpravodajské, vojenské či policejní složky. Možnost vyhodnocení dokumentu v reálném čase může ve značné míře zefektivnit rozhodovací proces jednotlivých stupňů velení a řízení oproti současné situaci. Systém může analyzovat jak elektronickou, tak tištěnou verzi dokumentu. Na obrázku 10 je uvedeno blokové schéma systému. Znalostní základna je tvořena lexikální a ontologickou složkou. Lexikon obsahuje všechna slova zájmového jazyka (např. arabského). Ontologická složka obsahuje hierarchickou strukturu obsahu lexikonu. Složka přirozeného jazyka zpracovává text, co se týká morfologické, syntaxové a sémantické úrovně. Statistická složka přiřadí dokument podle kategorií nadefinovaných ve složce seznam kategorií (např. radikální islám). Poté je zahrnuta složka pravidel, kde dojde k determinaci výstupů a hodnocení (imitace lidského pojetí vytváření závěrů). Přes sumarizující složku je poté dodán výsledný produkt [SHMUEL, B. 2006].

Obrázek 10: Blokové schéma systému na vyhodnocování dokumentu. Převzato z [SHMUEL, B. 2006].

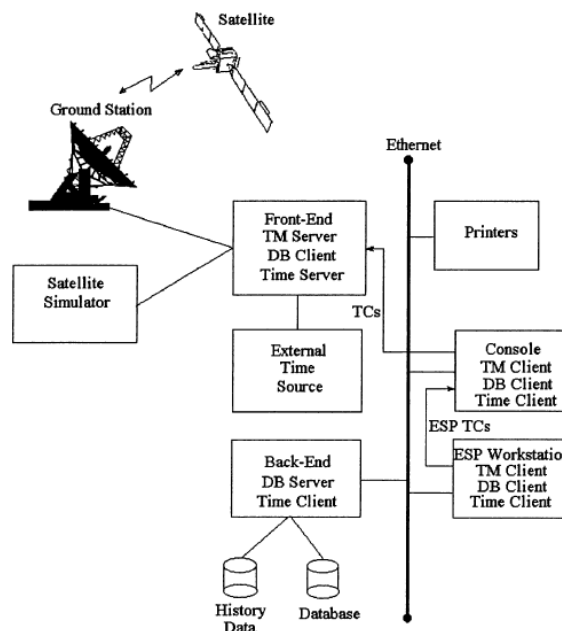


6.5.2 ESP - APES

Z důvodu nutnosti navýšení počtu družic britského vojenského komunikačního systému Skynet 4 a následné potřeby operační kontroly, byly vyvinuty systémy ESP (Expert System Prototype) a APES (Automated Procedure Execution Tool) [HARRISON, J. 1996].

ESP je pravidlově orientovaný systém, jehož náplní je monitorování telemetrií jednotlivých komunikačních družic s následným výběrem vhodné procedury (způsobu řízení) družice v případě nastalých problémů a to tak, jak by to provedl lidský operátor. APES, jenž je součástí ESP, má za úkol provádět výpočetní kroky jednotlivých procedur, posílat povelové instrukce a ověřovat informace telemetrií družic. Jednoduše řečeno, ESP provede výběr operačního způsobu řízení a APES se postará o jeho provedení. Existuje také varianta, že APES není součástí ESP, v tomto případě vykoná takový řídicí krok, jenž byl vybrán lidským operátorem. Systém ESP-APES je součástí prvku ESOF, což je řídicí středisko systému Skynet 4 (Skynet 4 spacecraft control centre). Funkční schéma ESOF včetně zahrnutého systému ESP je zobrazeno na obrázku 11. Před implementací ESP-APES byla kontrola a řízení telemetrií družic závislá na manuální činnosti lidských operátorů, vycházející z předepsaných (předem daných) operačních postupů. Operátor rozhodl na základě telemetrických informací jaké povelové instrukce a v jakém čase poslat na efektivní řízení jednotlivých družic.

Obrázek 11: Funkční síťové schéma ESOF. Převzato z [HARRISON, J. 1996]

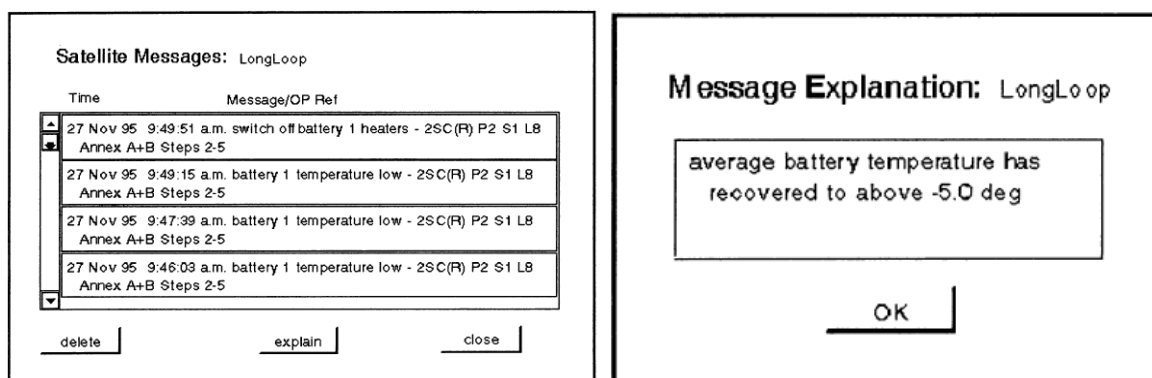


Je také důležité zmínit, že před projektem ESP-APES již existovaly systémy BATMAN (Battery Management) a SARA (Skynet AOCS Recovery Assistant). BATMAN byl pravidlově orientovaný systém sloužící k monitorování, údržbě a správě baterií systému Skynet 4. Systém SARA byl ES umožňující diagnostikování v reálném čase společně s vykonáváním povelů.

Systém ESP je přímým nástupcem systému BATMAN, nicméně s určitými odlišnostmi. Pro tvorbu systému byl využit programovací produkt G2 společnosti Gensym. ESP umožňuje vykonávat veškeré činnosti na základě dat a znalostí, které pocházejí z ověřených předepsaných pracovních postupů. Do budoucna je v řešení schopnost systému využívat i jiné znalosti (informace), než-li jsou ta pocházející z reálného času. Jedná se zejména o znalosti týkající se předešlých událostí a jejich možné vazby na současný stav (například výskyt termální anomálie, jež bude porovnávána s podobným výskytem v předešlých obdobích, na základě čehož je možné provést odpovídající řešení vyvstalé situace).

Příklady informačních hlášení, které má operátor k dispozici, jsou na následujících obrázcích. Na obrázku 12 je uveden příklad poradního informační zprávy (je uvedeno hlášení stavu společně s uvedením procedury, již je nutné vykonat). Obrázek 12 (pravý) vyobrazuje taktéž příklad zprávy popisující operátorovi stručné vysvětlení proč byla poradní zpráva dána.

Obrázek 12: Příklad poradní informační zprávy a vysvětlující informační hlášení systému ESP. Převzato z [HARRISON, J. 1996]



Oba systémy (systém) ESP-APES jsou navrženy, aby nahradily manuální procedurální kroky operátorů. Společným úkolem je tedy na základě vstupních informací o telemetrii družic a předdefinovaných procedurách (operačních postupech) navrhnout a poskytnout rozsah výstupních povelů k efektivnímu řízení jednotlivých družic souběžně s cílem snížení potenciální chybovosti lidských operátorů.

6.5.3 FRIEND – FOE / FIRE DECISION

Jedná se o patent vydaný v roce 2000, který řeší problematiku tvorby rozhodnutí o provedení střelby na cizí (nepřátelský cíl) společně s rozpoznáváním a identifikací vlastních a cizích jednotek, materiálu a výzbroje na bojišti. Plný název patentu je: Friends or Foe Detection System and Method and Expert System Military Action Advisory System and Method (System detekce vlastní - cizí a poradní vojenský expertní systém).

Patent si klade za cíl snížení případů úmrtí z důvodu palby do vlastních jednotek. Tato záležitost by měla být řešena využitím pokročilého expertního systému, fuzzy logiky, GPS zaměřování a komunikačními bojovými prostředky. Ve své podstatě se jedná o asistenci týkající se vyhodnocování pozic vlastních a cizích jednotek s následným doporučením možnosti palby v reálném čase. Začleněný expertní systém kalkuluje v rámci fuzzy logiky s tzv. střeleckým indexem, který je posuzován podle druhů a stupňů vojenských funkcí a příslušnosti (vlastní - cizí). Na základě těchto údajů se poté stanovuje, zda-li dojde nebo nedojde k zahájení střelby [LEMELSON, J. 2000]. Podrobnější popis patentu je uveden v kapitole 7.4.

6.5.4 SEC

SEC (Security Expert System) je systém, který byl vytvořen pro posílení standardních operačních postupů (SOP) v oblasti bezpečnosti. Od systému je požadováno hodnocení, bezpečnostního projektu jako takového, zda-li uvažovaný bezpečnostní projekt potřebuje zvýšené nároky na fyzickou nebo administrativní bezpečnost, popřípadě dát doporučení jak tyto kroky provést. Provádí komplexní bezpečnostní a rizikové vyhodnocení ve vztahu k bezpečnostním SOP. Systém pokrývá jak oblast informační, tak fyzické bezpečnosti. Pro bezpečnostní důstojníky slouží jako efektivní pomocník usnadňující plnění jejich funkčních povinností [HARDER, R., et al. 1989].

7 Popis vybraných aplikací expertních systémů

7.1 ADRIES

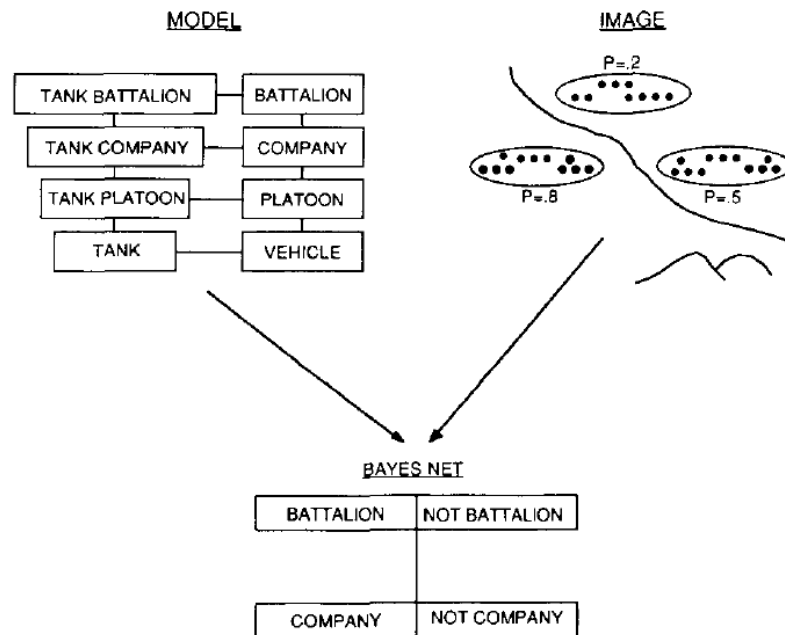
ES ADRIES (Advanced Digital Radar Imagery Exploitation System) je systém určený pro extrakci informací z radarových snímků pro potřeby rozhodovacího procesu velitelů, zpracování zpravodajských informací nebo pro potřeby klasického rozpoznávání cílů [FRANKLIN, J., et al. 1988].

Systém je založen na teorii modelové bayesovské pravděpodobnostní inference. Modely představují poznatky z organizace a formací (tvarů) vojenských jednotek a specifikují, jak znalost terénu pomáhá při podpoře nebo popření přítomnosti určitých typů vojenských sil v dané lokalitě. Výpočet pravděpodobnostní jistoty specifikuje porovnání evidencí získaných z radarových snímků SAR a z terénních databází s jednotlivými modely. Jejich kombinace slouží k inferenci přítomnosti nebo absence vojenských sil.

Modelová databáze systému ADRIES implicitně obsahuje veškeré možné inferenční řetězce, které systém může využít k vyvození jakýchkoliv závěrů. K řízení systému však lze využít jakékoliv informace. Extrémní příklad – pokud by bylo k dispozici zpravodajské hlášení HUMINT (informace z lidských zdrojů), které by signalizovalo přítomnost určité vojenské síly (jednotky) v regionu, systém ADRIES by to mohl využít k přímému zpracování snímku a terénu tohoto regionu bez rizika cyklického usuzování jeho závěrů. Jakákoliv výstupní hypotéza o silách v regionu musí být totiž podpořena obrazovou a terénní evidencí specifikovanou v modelové databázi a tato inference nutně pochází z výpočtu pravděpodobnosti. Další příklad – i jiné zdroje (jiné než snímky SAR) zpravodajských dat lze využít k sestavování prognóz nebo k aktivaci agentů, případně jiných procesů, nelze je však spojovat do důkazní podpory systémového výstupu, pokud nejsou vymodelovány v modelové databázi a v propočtu pravděpodobnosti.

Na obrázku 13 je znázorněna koncepce modelově založené bayesovské inference v systému ADRIES. Evidence jako například detekční clusterly jsou porovnávány s geometrií formací, které jsou explicitně prezentovány v modelové databázi. Shody vedou ke generování alternativních hypotéz přítomnosti ozbrojených sil, například praporů nebo rot, které jsou dynamicky vytvářeny a instalovány do datové struktury zvané bayesovská síť.

Obrázek 13: Bayesovský model rozhodování v ADRIES. Převzato z [FRANKLIN, J., et al. 1988].



System ADRIES je vytvořen jako distribuovaný soubor softwarových agentů (prvků) komunikujících na základě předávání sdělení. Dekompozice agentů pro ADRIES je znázorněna na obrázku 14. Existuje rovněž soubor databází využívaný jednotlivými agenty ke zpracovávání úkolů (jsou uvedeny v oválech na obrázku 14). Všichni agenti mají přímý nebo nepřímý přístup do všech databází. Jednotliví agenti mohou mít doplňující databáze. Stručné shrnutí funkcionalit každého agenta je následující:

- Řídící / inferenční agent (Control / Inference Agent) - plánuje systémové práce splňující vyhodnocovací požadavky (exploitation requests - ER) přijaté z uživatelského rozhraní. ER v podstatě specifikují, jaké síly hledat v které geografické lokaci. Své výsledky předkládá jako sdělení odesílané programovému agentovi. Řídící / inferenční agent udržuje bayesovskou síť a rozhoduje, kdy v ní generovat novou hypotézu založenou na dostupných evidencích. Rovněž rozhoduje o tom, kdy ukončit zpracování ER.
- Programový Agent (Agenda Agent) - přijímá sdělení o průběhu zpracování od řídicího / inferenčního agenta a posílá je výkonnému agentovi. Poskytuje volné spojení mezi plánováním řídicího / inferenčního agenta a alokací zdrojů výkonného agenta.

- Výkonný agent (Exec Agent) - přebírá aktuální plány zpracování od programového agenta a provádí alokaci zdrojů pro distribuci zpracování v distribuovaném systému. Souhrn svých procesních sdělení posílá zpět řídicímu / inferenčnímu agentovi.
- Snímkový lokační agent (Imagery Location Agent) - jde o prostorově indexovanou databázi snímků v pozemních souřadnicích. Sleduje virtuální podsnímky vyříznuté z větších snímků a udržuje záznamy zpracování snímků na úrovni zpráv. Obrazové soubory nejsou s tímto agentem rezidentní, tento agent aktuální snímek neposílá ani nepřijímá.
- Registrační agent (Registration Agent) - provádí hrubou registraci pro výpočet základních souřadnic snímku na základě parametrů platformy (senzoru) a planimetrických⁵ předpokladů. Registrační agent rovněž vypočítává přesnou registraci obrazu na zemském povrchu. Pro daný snímek vypočítává funkci, která přebírá hodnotu výšky (elevaci) v bodě terénu a jako výstup používá odpovídající bod na snímku.
- Nízkorozlišovací detekční agent (Lo-Res Detection Agent) - detekuje potencionální vozidla na snímcích s nízkým prostorovým rozlišením. Vypočítává rovněž pravděpodobnost odpovídající hypotetickému vozidlu nebo jeho neexistenci.
- Clustering agent (Clustering Agent) - agent bere jako vstupy detekce a jejich pravděpodobnost a jeho výstupem jsou clustery (shluky) detekcí a pravděpodobnost, že cluster obsahuje vojenskou jednotku „souborové“ velikosti (např. 8-15 vozidel). Pracuje s mezivozidlovými prostory a rozestupy, pravděpodobností detekce planého poplachu a disperzí clusteru na zemském povrchu v porovnání s očekávaným rozsahem formace souborové velikosti.
- Detekční agent v bodovém režimu (Spot Mode Detection Agent) - provádí detekci vozidel na snímcích s vysokým prostorovým rozlišením. Vypočítává rovněž pravděpodobnost vozidlo versus nevozidlo.
- Agent klasifikace vozidel (Vehicle Classification Agent) - provádí rozpoznávání vozidel v zobrazení na snímcích s vysokým prostorovým rozlišením a vypočítává pravděpodobnosti souborů hypotéz typů vozidel.

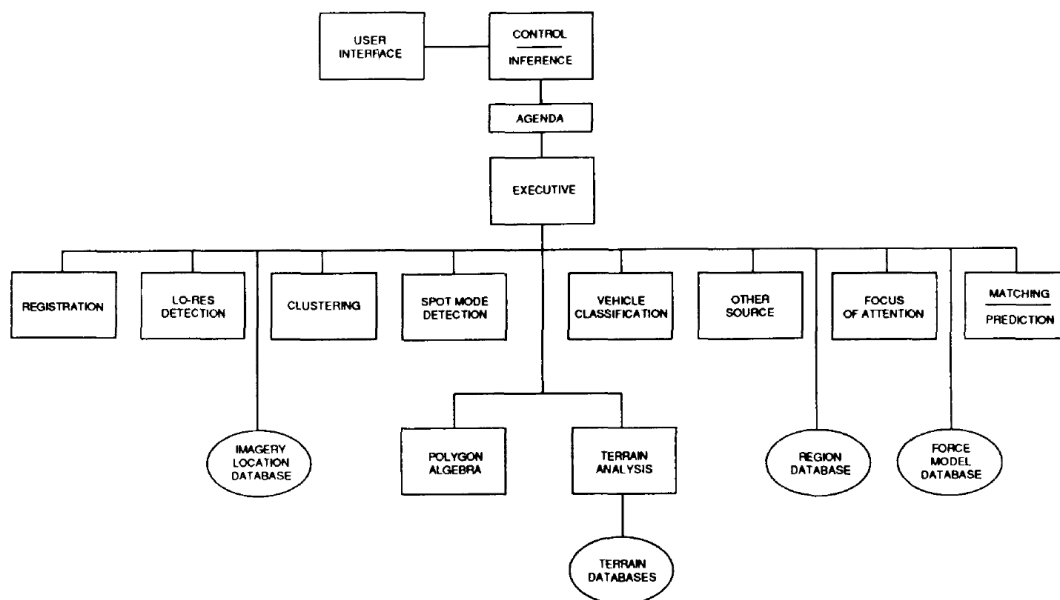
⁵ Planimetrie je část geometrie studující rovinné útvary.

- Agent ostatních zdrojů (Open Source Agent) - poskytuje sumarizaci signálového zpravodajství a sumarizaci zpravodajství z dalších zdrojů indexovanou podle geografické lokace a typu ozbrojené složky.
- Ohniskový agent (Focus Agent) - bere jako vstup geografický region a druh ozbrojené složky a jeho výstupem je prioritizovaný seznam subregionů pro vyhledávání složek příslušného druhu v daném regionu. Využívá vstupy od terénních agentů a agenta ostatních zdrojů.
- Agent shody / predikce (Match / Prediction Agent) - vyžaduje jako vstup lokalizaci hypotetických ozbrojených sil a porovnává ji s doktrinálními formacemi. Rovněž interaguje s terénním agentem na úpravě modelů vojenských formací (jednotek) v souladu s příslušnými terénními podmínkami a vojenskou doktrínou nasazení. Predikce jsou logickým výstupem porovnání chybějících sil u částečných shod. Agent rovněž pracuje s pravděpodobností formace použité k dokazování řídicím / inferenčním agentem.
- Agent terénní analýzy (Terrain Analysis Agent) - uplatňuje se na třech různých bázích.
 - Lokální terénní analýza bere jako vstup typ ozbrojené síly a geografický region a využívá terénní pravidla k výpočtu subregionů konstantní pravděpodobnosti indikující pravděpodobnost, že bude v tomto subregionu lokalizována ozbrojená síla tohoto typu. Používána jsou ta terénní pravidla, která jako předběžnou podmínku berou terénní atributy, jež lze získat z přímého přístupu do terénní databáze. Důvodem separace těchto terénních pravidel od „strukturálních“ terénních pravidel je fakt, že je pro lokální terénní pravidla vytvořen pravděpodobnostní model. Tyto pravděpodobnosti tudíž může řídicí / inferenční agent zkombinovat jako součást pravděpodobnosti výstupních hypotéz.
 - Subagent koridorů mobility používá jako vstup typ jednotky a geografický region a jeho výstupem jsou subregiony, přes něž jednotka daného typu může provádět přesun napříč celým regionem. Tento subagent má být vzestupně kompatibilní s budoucím agentem přístupových cest, který provádí globálnější logické zpracování taktické situace.
 - Subagent strukturální terénní analýzy používá jako vstup typ jednotky a geografický region a využívá terénní pravidla k výpočtu subregionů, které

jsou vhodné k obsazení silou daného typu. Tato pravidla jsou svou podstatou relační, tj. využívají jako předběžnou podmínku terénní atributy, které nelze získat přímým přístupem do terénní databáze. Pravidla interagují s formačními shodami souvisejícími s úpravou očekávaných formací ozbrojených sil na základě terénních a vojenských omezení.

- Agent uživatelského rozhraní (User Interface Agent) - umožňuje uživateli interaktivně zadávat jako vstup požadavek vyhodnocení. Zobrazuje rovněž veškeré systémové výsledky včetně snímku, terénních vrstev a víceúrovňových hypotéz ozbrojených sil. Uživatel může interagovat s výstupy a získat tak vysvětlení systémových závěrů.

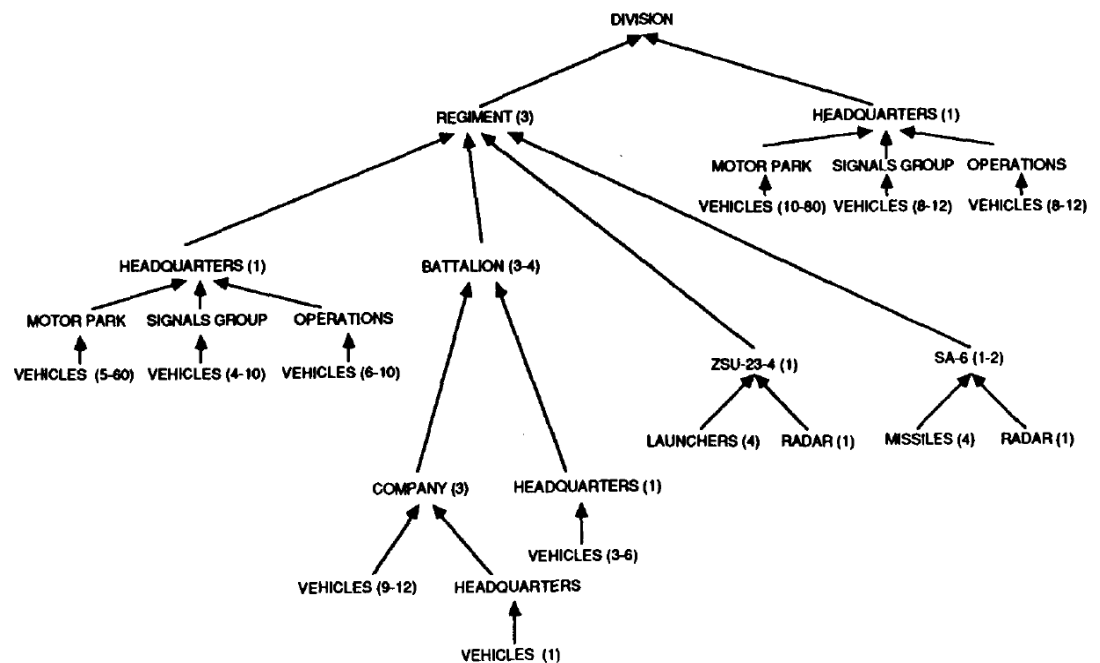
Obrázek 14: Dekompozice (přehled) agentů v ADRIES. Převzato z [FRANKLIN, J., et al. 1988].



Inference je v systému ADRIES prováděna prostorem hierarchicky propojených hypotéz. Hypotézy obvykle (nikoliv výlučně) představují výroky ve formě „Existuje vojenská síla typu F ve formaci D v lokaci L v čase T.“ Hierarchie v prostoru hypotéz odpovídá hierarchii ozbrojených sil vycházející z vojenské doktríny. Tudíž hypotézy „na úrovni uskupení“ vojenských jednotek jako jsou roty, dělostřelecké baterie a raketová odpalovací stanoviště jsou propojeny s příslušnými hypotézami o vozidlech, dělostřelecké výzbroji a raketových odpalovacích zařízeních. Obdobně při postupu hierarchií složky vzhůru jsou hypotézy rot uskupovány do hypotéz praporu, ty do hypotéz pluku atd.

Hypotézy jsou generovány hierarchickým a parciálním porovnáváním modelů vojenských sil s evidencemi dostupnými z radarových snímků. Systém ADRIES je tudíž modelově založený systém radarového zobrazení. Důkaz pravdivosti (nebo popření) hypotézy vychází numericky z pravděpodobnostních odhadů subhypotéz zahrnujících mateřské hypotézy. Ačkoliv řízení zpracování v systému ADRIES může být komplexní, struktura inference se řídí šablonou založenou na modelech vojenských sil. Tyto modely jsou tvořeny typy sil (tj. názvy) a prostorově geometrickými daty nasazení týkajícími se typů sil. Část vztahů pro generické modely sil je znázorněna na obrázku 15. Čísla vedle sil znamenají, kolik daných sil se očekává jako komponent nadřazené síly, složky (například systém SA-6 bude tvořen dvěma komplexy, z nichž každý obsahuje 4 odpalovací zařízení a 1 střelecký a naváděcí radiolokátor). Modely jsou prezentovány jako omezení v sémantických sítích. Omezení tvoří název vztahu, parametry spojené s tímto vztahem a doplňující modelové atributy.

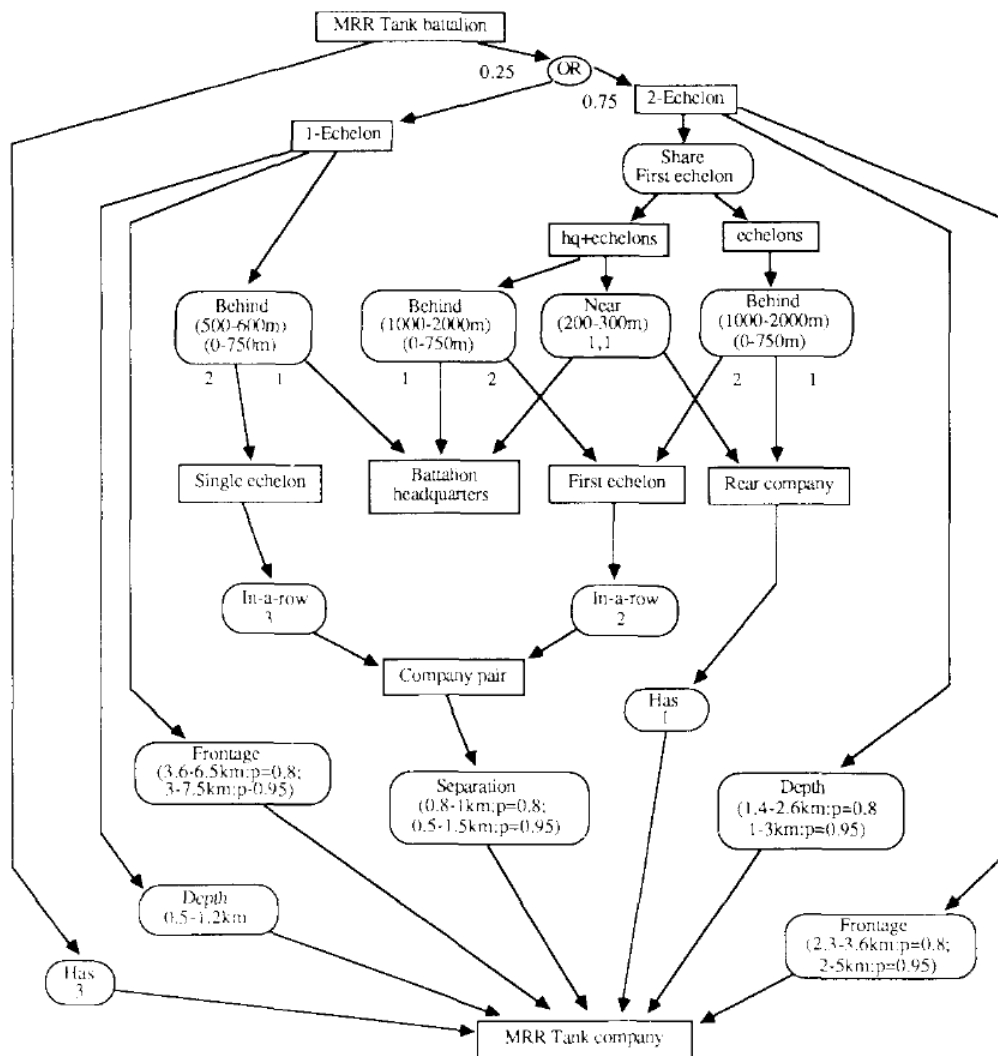
Obrázek 15: Část vztahů pro generické modely sil. Převzato z [FRANKLIN, J., et al. 1988].



Omezení v modelech nasazených sil v podobě sémantické sítě⁶ je znázorněno na obrázku 16. Na vrcholu každého omezení je položka mateřského modelu reprezentovaná obdélníkovým rámečkem. Rámeček s kulatými rohy představuje vztah a jeho související parametry. Položky mateřského i podřízeného modelu mohou být síly nebo formace.

⁶ Sémantická síť umožňuje popisovat realitu jako objekty, které jsou navzájem v nějakých vztazích (relacích). Má přirozenou grafovou reprezentaci, kdy objekty jsou uzly a relace mezi nimi hrany v grafu.

Obrázek 16: Sémantická síť praporu. Převzato z [FRANKLIN, J., et al. 1988].



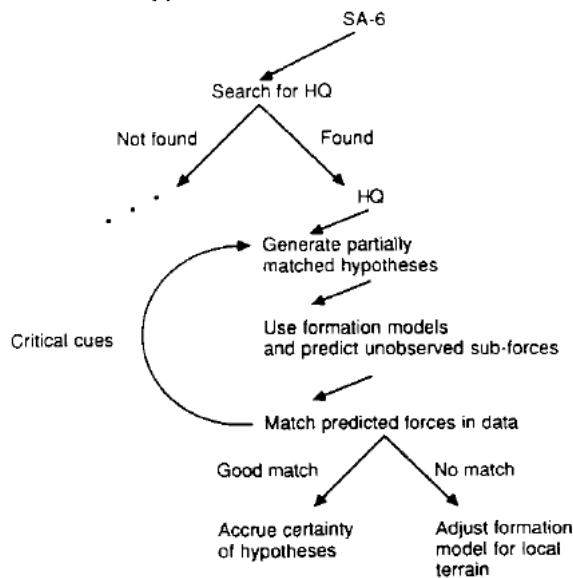
Systém ADRIES má přístup založený na utilitách i na modelech, který řídí modelové shody nasazení sil. Algoritmy jsou využívány oportunisticky podle utility úkolu ve světle aktuálně dostupných dat, aniž by byly kontrolovány nebo aplikovány ve fixním pořadí. Některé ukázky pravidel a inferenčních řetězců je možné vidět na obrázku 17 (zobrazený inferenční řetězec využívá více modelů a pravidel, než je na obrázku uvedeno) Teorie utilit je odvozena z rozhodovacích analytických metod nadřazených bayesovské inferenci.

Obrázek 17: Příklad rozhodovacího řetězce pro formaci (sestavu) protiletadlového raketového prostředku SA-6. Převzato z [FRANKLIN, J., et al. 1988].

Sample Rules:

IF (SA-6) THEN (search for nearby HQ)
 IF (HQ) THEN (generate hypothesis: Regiment or Division)
 IF (partially matched higher-level-force hypothesis)
 THEN (use formation-deployment models to predict unobserved sub-forces)

Inference/triggering:



Koncept řešení konfliktů a numerické akumulace (přírůstků) evidencí je takový, že i když se často stává, že automatizované párování může být lokálně nesprávné, váha evidencí globálně potlačí místní neshody a vede k jednoznačnému výkladu taktické situace. Globální obraz je v systému ADRIES prezentován jako sada cílů, jako to, co se očekává na snímcích SAR. Například rozkaz k ověření přítomnosti divize stanovuje cíl nalézt divizi. Řídící / inferenční agent pak vyhledá struktury podle lokální terénní a vojenské situace. Model je využit k rekurznímu stanovení podcílů a k nalezení vojenských jednotek náležejících k divizi. Stávající hypotézy nasazení cílů jsou uloženy jako uzly v bayesovské síti. Představují cíle a podcíle, které již byly vytýčeny a sledovány nebo splněny. Struktura cílů a hypotetický prostor nasazení ozbrojených sil jsou tak vzájemně duální. V průběhu zpracování mezi nimi průběžně probíhá kontrola.

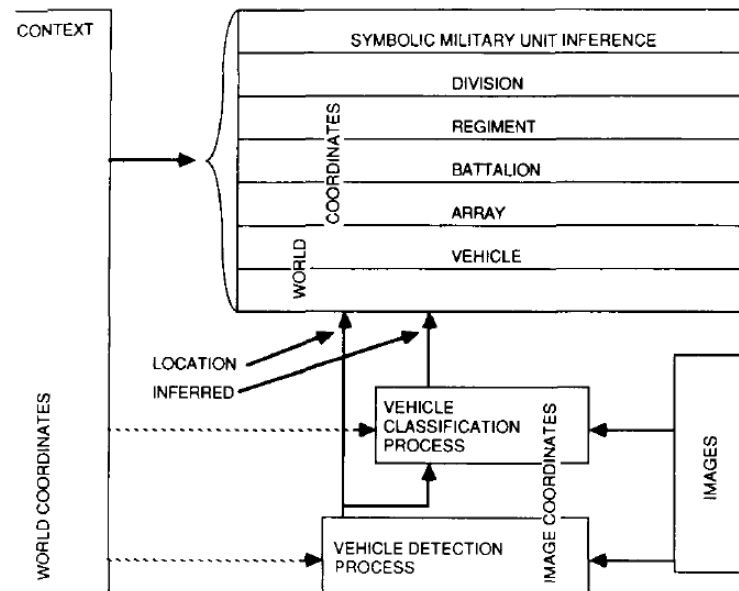
Struktury cílů pomáhají predikovat, kde na snímku dané ozbrojené síly hledat. Po lokalizaci oblasti vyhledávání jsou z bayesovské sítě zjištěna data, která jsou porovnávána

s modely asociovanými k cílům. Shody mohou zdola nahoru spustit inferenci dalších hypotéz nasazených ozbrojených sil, což může zase aktivovat generování nových cílů.

Fundamentální koncept je zde založen na tom, že zatímco zpracování vizuálního systému může být komplexní, s četnými smyčkami zpětných vazeb, četnými úrovněmi rozlišení, rekurzemi atd., nakonec bychom měli být schopni asociovat dedukční řetězec evidencí až k systémovému výstupu společně s asociovanou pravděpodobností, která tento výsledek podpoří.

Je zvolena pravděpodobnostní teorie jakožto základní technika této numerické akumulace (přírůstku) evidencí. Jedním z hlavních motivů tohoto rozhodnutí bylo, že je již přepracována teorie bayesovské inference. Tento přístup vyžaduje stanovit vazby mezi evidencemi a hypotézami v modelech, jimiž bude systém argumentovat. Po stanovení těchto vazeb je zapotřebí numerické interpretace kondicionální pravděpodobnosti a řetězce evidencí, které ji prostřednictvím vazeb podporují. Na obrázku 18 je uvedena hypotéza bayesovské inference v systému ADRIES.

Obrázek 18: Hierarchie bayesovské inference. Převzato z [FRANKLIN, J., et al. 1988].



Odvození pravděpodobnosti pro generovanou hypotézu je prováděno s využitím bayesovské sítě. Toto paradigma podporuje propagaci pravděpodobností prostřednictvím hierarchického stromu hypotéz koherentním, stabilním a efektivním způsobem. Výsledkem je hodnota pro každou hypotézu indikující její relativní pravděpodobnost. Vzájemně exkluzivní

protichůdné hypotézy jsou shromažďovány v jediném uzlu bayesovské sítě. Každý uzel je tvořen vektorem indikujícím aktuální relativní domněnku, že je každá z protichůdných hypotéz pravdivá.

Uzel může například uskupovat názory, že cluster je prapor nebo že jde o planý poplach (tj. že to není prapor). Vazby spojující uzly jsou tvořeny kondicionálními pravděpodobnostními maticemi indikujícími vztah hypotéz. Tyto pravděpodobnosti jsou dovozeny z terénních omezení a lokalizace hypotetických sil. Například u bayesovské vazby spojující uzel praporu (X) s uzlem roty (Y) tyto pravděpodobnosti specifikují:

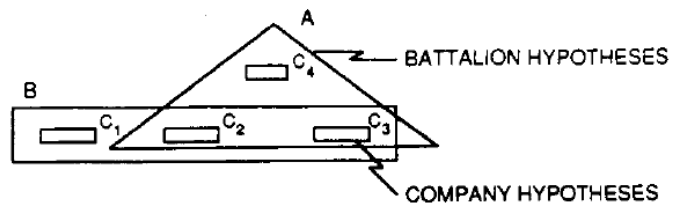
- P (jednotlivé snímkové clustery jsou roty / konkrétní region je prapor).
- P (jednotlivé snímkové clustery jsou roty / konkrétní region je planý poplach).
- P (jednotlivé snímkové clustery jsou plané poplachu / konkrétní region je prapor).
- P (jednotlivé snímkové clustery jsou plané poplachu / konkrétní region je planý poplach).

Bayesovská síť se během zpracování dynamicky vyvíjí. Nové hypotézy jsou generovány pro agregaci nízkoúrovňových hypotéz do hypotéz vysokoúrovňových, zatímco zdokonalovací fáze generují další možnosti hypotéz.

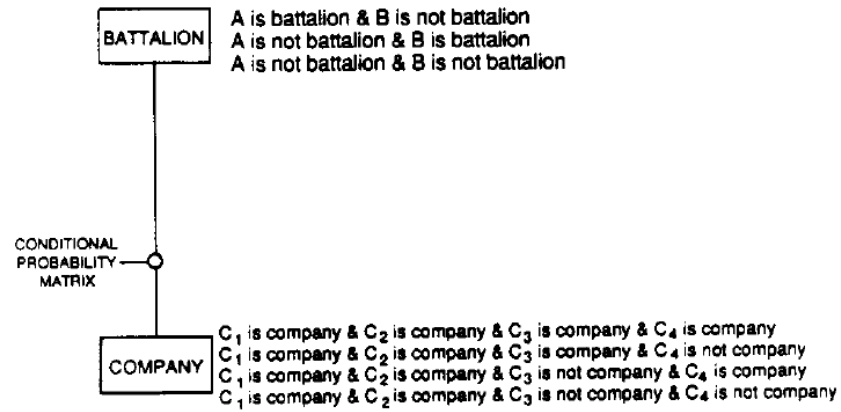
Protichůdné hypotézy jsou pak spojovány do jednotných bayesovských uzlů. Příklad generování bayesovské sítě je uveden na obrázku 19. Tento obrázek znázorňuje generování dvou vzájemně protichůdných hypotéz praporu založených na čtyřech hypotézách rot. Schéma nahoře znázorňuje formační regionální omezení případných praporů (trojúhelník A a obdélník B) odpovídající formačním omezením roty (malé obdélníčky). Struktura bayesovské sítě strukturálně odpovídá databázi modelů jednotlivých sil (Force Models Database).

V rámci literatury popisující systém ADRIES je uvedeno i několik obrazových příkladů znázorňujících například původní snímek s indikovanou lokalizací tanků (včetně zobrazení na snímcích SAR), zaměření pozornosti subregionu z původního snímku získaného z jiných zpravodajských zdrojů, výsledky detekčních algoritmů provedených na zájmovém regionu, výsledky aplikace shodového algoritmu režimu tankové roty v obranné formaci. Nicméně tyto příklady jsem zde neuvedl z důvodu nedostatečné kvality použitých obrázků.

Obrázek 19: Příklad generování bayesovské sítě. Převzato z [FRANKLIN, J., et al. 1988].



BAYES NET



7.2 BATTLE

Expertní systém BATTLE byl vyvinut pro potřeby námořní pěchoty a námořních sil USA. Systém plní dvě oddělené funkce, kterými jsou vyhodnocování efektivity zbraňových systémů (plánu rozmístění zbraňových systémů) a funkce rozpoznávání námořních plavidel. V následujících podkapitolách jsou podrobně popsány obě funkce systému.

7.2.1 Vyhodnocování efektivity zbraňových systémů

První funkce expertního systému BATTLE vyhodnocuje efektivitu jednotlivých palubních zbraní ve vztahu k cílům a pak vytváří kompletní hodnotící plány, které zohledňují rozmístění (alokaci) všech zbraní pro všechny cíle [FRANKLIN, J., et al. 1988]. To by za normálních okolností vyžadovalo vyčerpávající vyhledávací postupy. Cílem systému je maximalizace destruktivního účinku (celková hodnota D) na všechny cíle. V plánu rozmístění je hodnota destrukce pro daný cíl produktem strategické hodnoty cíle a očekávaného procenta cíle, které bude plánem zničeno. Pokud je hodnota destrukce maximalizována, je plán považován za optimální. Dosažení tohoto optimálního plánu v reálných podmínkách s využitím vyčerpávajících vyhledávacích postupů bohužel vyžaduje příliš mnoho času. Pokud například máme W zbraní a T cílů, existuje $(T+1)^W$ různých možností. U optimálního plánu předpokládajícího 8 zbraní a 17 cílů byl počítačový čas s využitím vyčerpávajícího vyhledávání 11 minut a 43 sekund. Expertnímu systému BATTLE zabral stejný problém 6,75 sekund a dosáhl 98 procent optimality. Redukce potřebného času bylo dosaženo díky heuristickému vyhledávacímu mechanismu, který eliminoval prověřování nepravděpodobných kombinací zbraň / cíl. Některé z 55 faktorů využitých systémem BATTLE k dosažení tohoto rozmístění zbraní jsou následující:

- Dostřel a pozice.
- Náročnost na obsluhu.
- Schopnost protiútoků.
- Opakované dodání zásob.
- Munice.
- Počet hlavní na jednotku.
- Zkušenost nepřátelské jednotky.
- Údržba.

- Personální náročnost přesunů.
- Fyzický stav.

První krok úlohy porovnává účinnost jednotlivé zbraně na jednotlivý cíl, druhý krok hodnotí kompletní interakci všech zbraní se všemi cíli. BATTLE využívá k tomuto srovnávání pravidla specifikovaná vojenským expertem. Část sítě alokace (rozmístění) jednotlivé zbraně k jednotlivému cíli je znázorněna na obrázku 20. Tato síť je generalizací inferenčních sítí systému PROSPECTOR⁷.

Na tomto obrázku je znázorněna dělostřelecká alokační síť, jež využívá mnoha různých kvantitativních a kvalitativních parametrů. Ke kvantitativním parametrům patří spolehlivé odhady dostřelu zbraní nebo schopnost protiúderu ze strany cíle. Ke kvalitativním parametrům patří připravenost posádky nebo stav materiálu. Výpočtová síť využívá několik různých technik kombinování informací před alokací zbraní k cílům. Ke kombinování informací (například alternativy opakovaného doplnění zásob munice a materiálu a schopnost protiúderu) jsou využívány klasické booleovské operátory OR a AND. Bayesovské dokazovací funkce indikované trojúhelníkovými symboly slouží ke kombinování informací jako je pohotovost, status zásobování vlastních a cizích sil nebo přiměřenost cíle. Expertně definovaná heuristika je indikována vyplněnými symboly. Tato heuristika obvykle představuje empirické výsledky, které podporují spolehlivou alokaci zbraní k cílům.

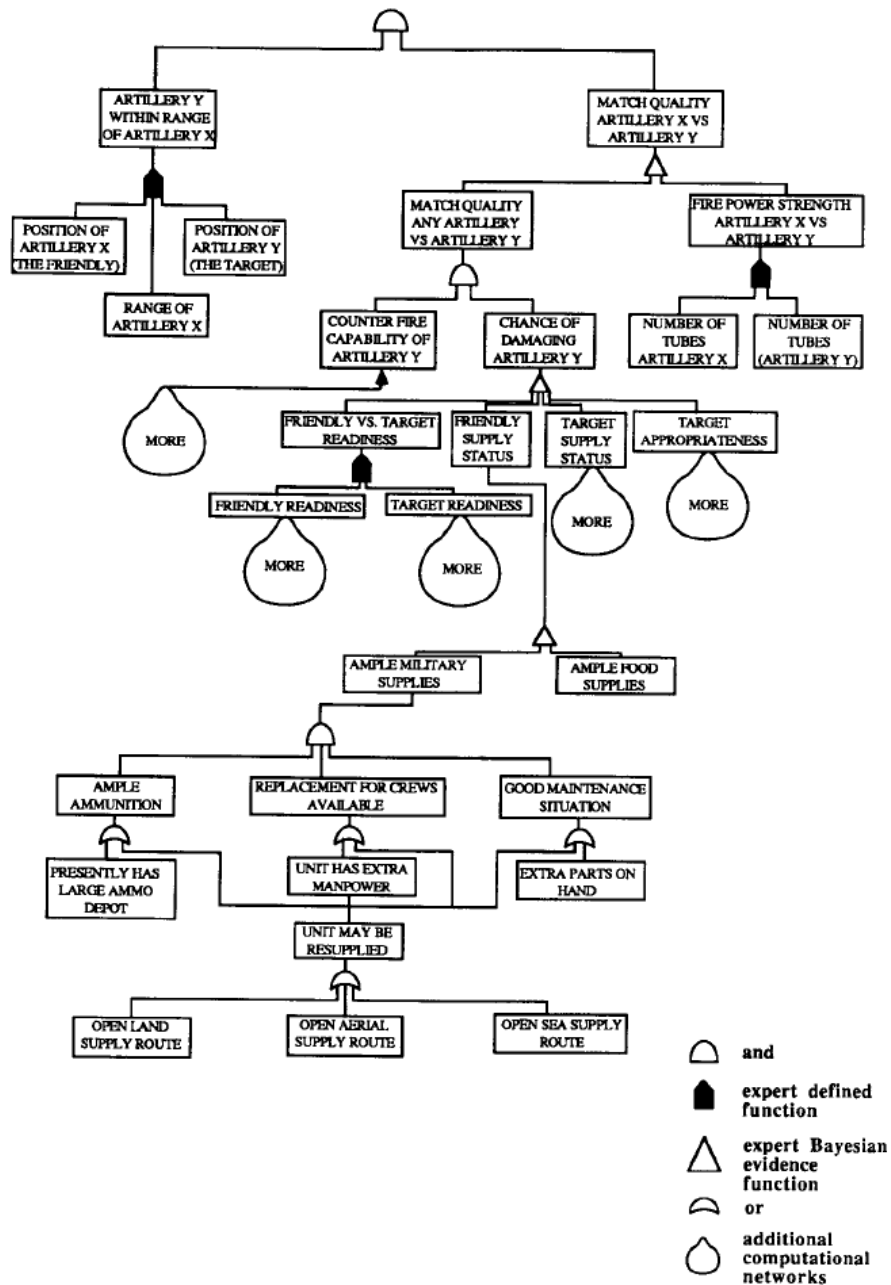
Typický scénář alokace 4 zbraní ke 3 cílům je znázorněn v tabulce 6. V tomto příkladu je účinnost zbraně očekávaným procentem cíle, které bude touto zbraní zničeno.

Tabulka 6: Scénář alokace 4 zbraní ke 3 cílům. Podle [FRANKLIN, J., et al. 1988].

Cíl (Target)	Strategická hodnota	Zbraň (Weapon) / Účinnost			
		W 1	W2	W3	W4
T1	200	60 %	70 %	80 %	90 %
T2	100	60 %	30 %	0 %	90 %
T3	150	60 %	0 %	90 %	90 %

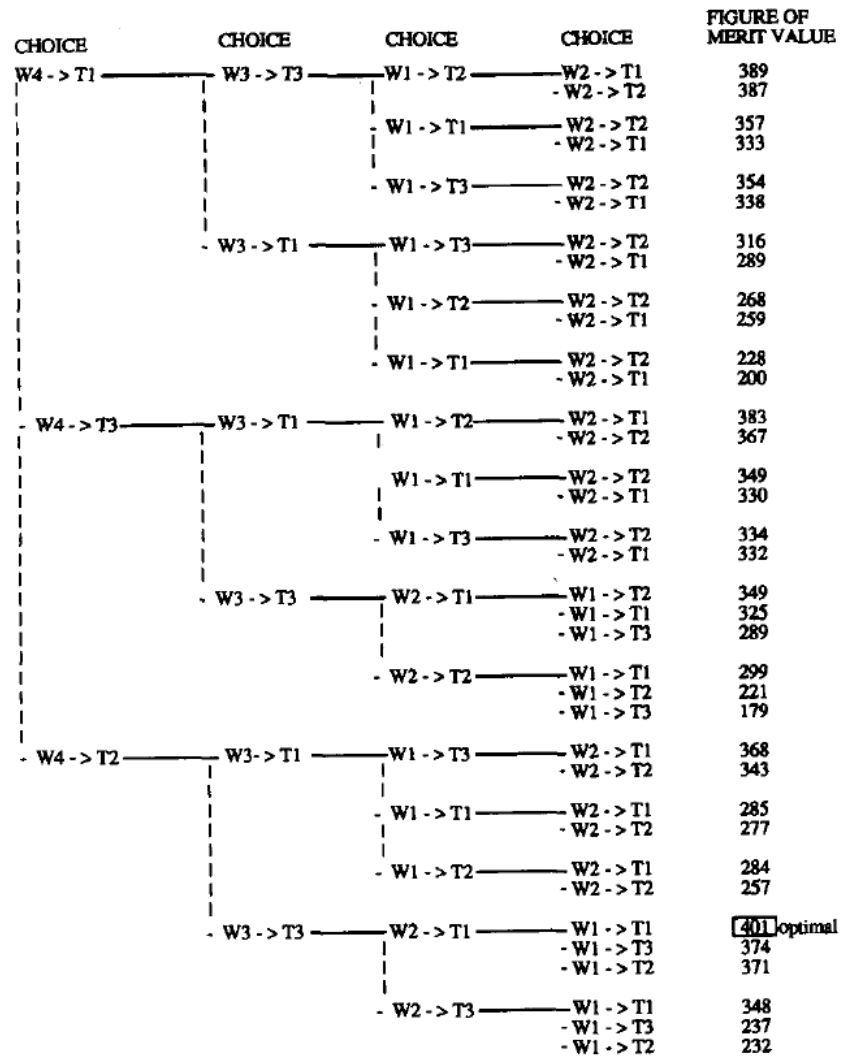
⁷ PROSPECTOR byl expertní systém vyvinutý pro podporu průzkumu nerostných ložisek.

Obrázek 20: Část sítě alokace (rozmístění) dělostřeleckých zbraňových systémů. Převzato z [FRANKLIN, J., et al.1988].



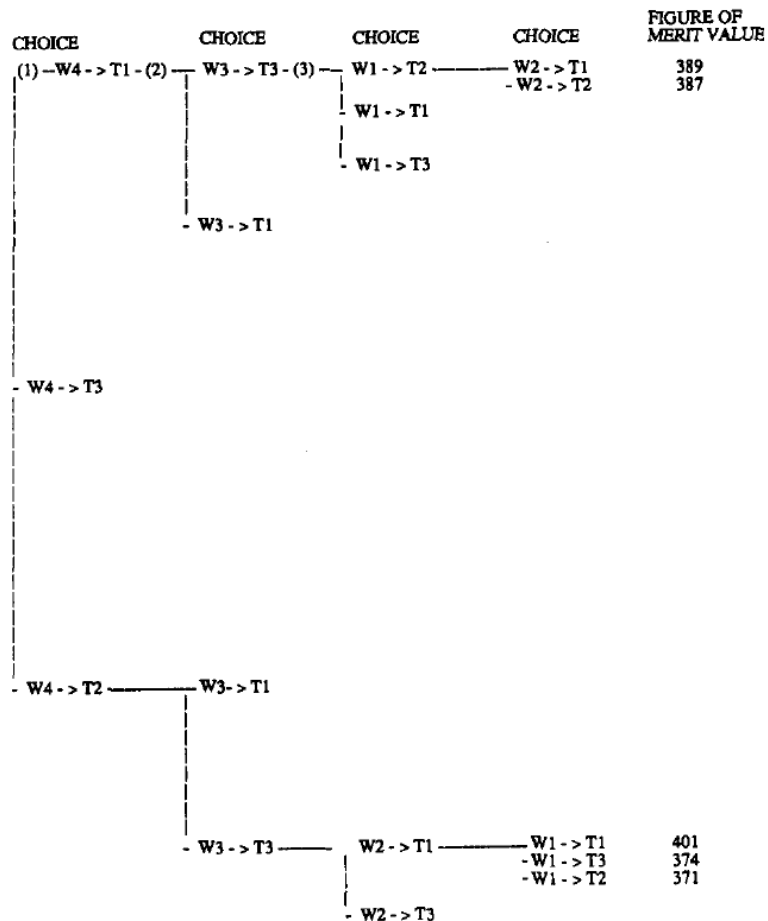
Na obrázku 21 je znázorněn alokační strom pro případ, v němž je každá zbraň použita v každé alokaci, alokační strom shromažďující více zbraní proti jedinému cíli a ze zbraně může být vystřeleno pouze jednou. V levé části jsou uvedeny varianty přidělení zbraně k cíli, napravo jsou uvedeny hodnoty zničení (destrukce). Optimální alokace je zbraň W4 k cíli T2, zbraň W3 k cíli T3, zbraň W2 k cíli T1 a zbraň W1 k cíli T1 s celkovou hodnotou zničení 401.

Obrázek 21: Příklad alokačního stromu. Převzato z [FRANKLIN, J., et al. 1988].



Obrázek 22 nám zobrazuje stejný alokační strom, nicméně v upravené “zeštíhlené” variantě. Z tohoto stromu vyplývá, že celkový počet výpočtů byl dramaticky omezen přidáním několika heuristických pravidel do vyhledávacího stromu. Tohoto zeštíhlení bylo docíleno díky několika velice prostým úvahám. Jedna z nich spočívala ve vyhodnocení nejlepší alokace zbraně k cíli a v následném využití výhledové heuristiky k určení, zda by další větve hodnoceného stromu mohla překročit stávající nejlepší hodnotu destrukce zbraně / cíl. Pokud odhadovaná kumulativní hodnota destrukce nepřesáhne hodnotu stávající, není tato větve stromu již dále hodnocena.

Obrázek 22: Zeštíhlený příklad alokačního stromu (použité heuristické vyhledávání). Převzato z [FRANKLIN, J., et al.1988].



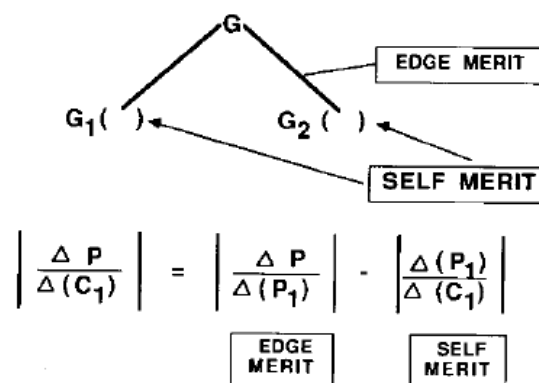
Často dochází k situacím, kdy nejsou k dispozici všechny informace potřebné k tomu, aby expertní systém provedl požadovanou alokaci. V takovém případě musí expertní systém klást dotazy uživateli. Systém BATTLE využívá techniku výhodnosti (významovosti). První klade otázky nejvyšší výhodnosti z důvodu minimalizace času a nákladů uživatele na poskytnutí odpovědi.

Systém založený na výhodnosti vykonává tuto funkci zvažováním, jak snadné je pro uživatele poskytnout informaci a jak užitečná tato informace bude pro alokaci zbraně k cíli. Systém založený na výhodnosti začíná konceptem vlastní výhody. Systém vlastní výhody je definován jako očekávaná variabilita odpovědi na otázku děleno náklady na získání odpovědi. Potencionální variabilita odpovědi na otázku by byla velmi vysoká například v záležitostech spojených s počasím, protože u něj se očekávají časté změny. Náklady jsou spojeny s obtížností poskytnutí odpovědi. Jedním z měřítek nákladů by mohl být čas potřebný k nalezení odpovědi na otázku. Vlastní výhoda uzlu zahrnujícího počasí by tudíž byla

relativně vysoká vzhledem k velké očekávané variabilitě odpovědi děleno relativně nízkými náklady na získání informací o počasí.

Obrázek 23 ilustruje systém výhodnosti. Vlastní výhoda (Self Merit) spojená s uzlem G1 je absolutní hodnota změny v parametru odpovědi (ΔP_1) děleno náklady (ΔC_1). Dalším významným faktorem je efekt této odpovědi v uzlu G1 a dopad, jaký bude mít na další vyšší uzel G. Toto označujeme za mezní výhodnost (Edge Merit). Je to absolutní hodnota změny v uzlu G (ΔP) děleno změnou v uzlu G1 (ΔP_1). Celková výhodnost v uzlu G ve spojení s G1 je produkt vlastní výhody a mezní výhodnosti.

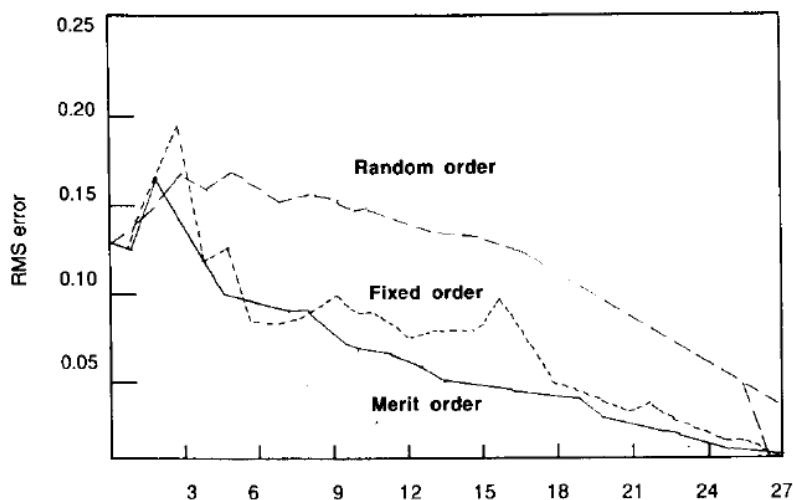
Obrázek 23: Koncept výhodnosti. Převzato z [FRANKLIN, J., et al. 1988].



Na obrázku 24 je znázorněno porovnání strategie výhodnosti v kladení otázek s dalšími dvěma technikami, kterými jsou náhodný výběr otázek a strategie fixního pořadí. Strategie fixního pořadí je kalkulována před dostupností odpovědi na jakoukoliv otázku a není aktualizována s jejich zpřístupněním. To redukuje potřebu online výpočtu, vyplývá z toho však fixní pořadí soustavy otázek a často to vyžaduje více času. Chyba na ose Y se vztahuje k diferenci mezi optimálním plánem, který maximalizuje hodnotu destrukce a aktuální hodnotou destrukce pro tři strategie. Strategie výhodnosti dospěla k řešení, které se pohybuje do pěti procent optimálního plánu a vyžaduje méně než dvanáct otázek. Další dvě strategie využití v porovnání by vyžadovaly 18 až 25 otázek k dosažení stejné úrovně výkonnosti jako strategie výhodnosti.

Expertní systém musí minimalizovat otázky kladené důstojníkovi námořních sil, pokud se nachází ve stresovém bojovém prostředí. Strategie výhodnosti pomáhá zredukovat množství zbytečných otázek.

Obrázek 24: Porovnání dotazovacích strategií. Převzato z [FRANKLIN, J., et al. 1988]



7.2.2 Rozpoznávání námořních plavidel

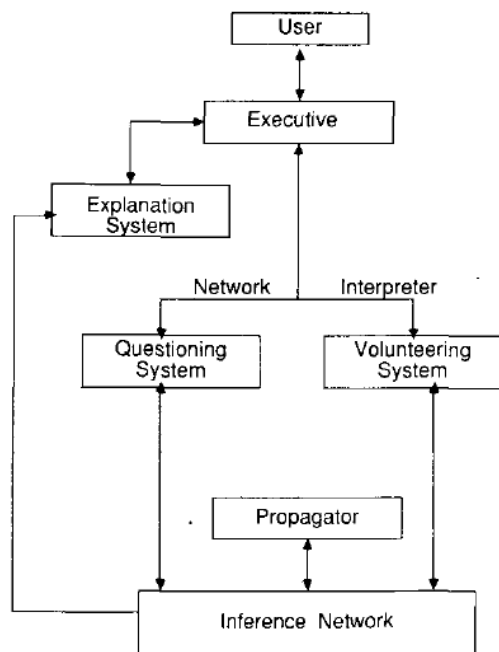
Druhá funkce expertního systému BATTLE má za úkol pomoci lidským operátorům při správné identifikaci plavidel z obrazových snímků [FRANKLIN, J., et al.1988]. Systém využívá heuristická pravidla poskytnutá lidským expertem k určování nejpravděpodobnější klasifikace plavidla vzhledem k dostupným charakterizujícím údajům (systém byl například testován na více než 100 obrázků 10 podobných tříd plavidel a v 84 procentech času poskytl správnou identifikaci).

Přesná identifikace plavidel v reálném čase může být velmi obtížný úkol. Je žádoucí tato plavidla identifikovat v řádu minut od detekce. Obrazové snímky je obtížné identifikovat z řady důvodů, k nimž patří počasí, turbulence, osvětlení, zorný úhel aj. Pokud se tyto obtíže zkombinují se stovkami existujících tříd plavidel, která je možné na moři identifikovat a s časovým omezením na přesné rozhodnutí, je žádoucí i existence maximální podpory a pomoci operátorům. Na základě zkušeností vyplývá, že dokonce i zkušení operátoři mívají horší dny nebo jsou do takové míry zatíženi detekcemi četných cílů, že se stávají méně přesnými a příležitostně dokonce přehlédnou zjevné rozpoznávací znaky. Průměrný operátor je často nekonzistentní a nejistý. Má rovněž potíže určit, jaký další znak by měl sledovat, aby zredukoval nejednoznačnost klasifikace plavidla a nakonec zúžil rozhodování na specifický výběr.

Blokové schéma systému BATTLE je znázorněno na obrázku 25. Systém vede operátora v prověřování specifických znaků nebo parametrů a pak doporučuje identifikaci

specifického neznámého plavidla. Část „Explanation System“ využívá logiku experta a může uživateli ukázat, proč expertní systém provedl specifické rozhodnutí ohledně identifikace obrázku a označil jej za specifickou třídu plavidla. Část „Questioning System“ rozhoduje, jaká otázka by měla být položena jako další. Využívá strategii výhodnosti k optimalizaci sledu otázek. Část „Volunteering System“ umožňuje operátorovi poskytnout tolik vstupních dat, kolik pokládá za vhodné. Umožňuje rovněž operátorovi improvizovat během dotazovací fáze s doplňujícími informacemi. Část „Propagator“ kalkuluje vliv nejistoty na data a operátorova pozorování, zatímco vstupní informace prochází výpočetní sítí k cíli, jímž je identifikace plavidla. Zde se využívají variace bayesovských technik. Část „Inference Network“ kombinuje vstupní pozorování a zjištěné znaky do mezilehlých hypotéz, které jsou dále kombinovány až k finálnímu závěru.

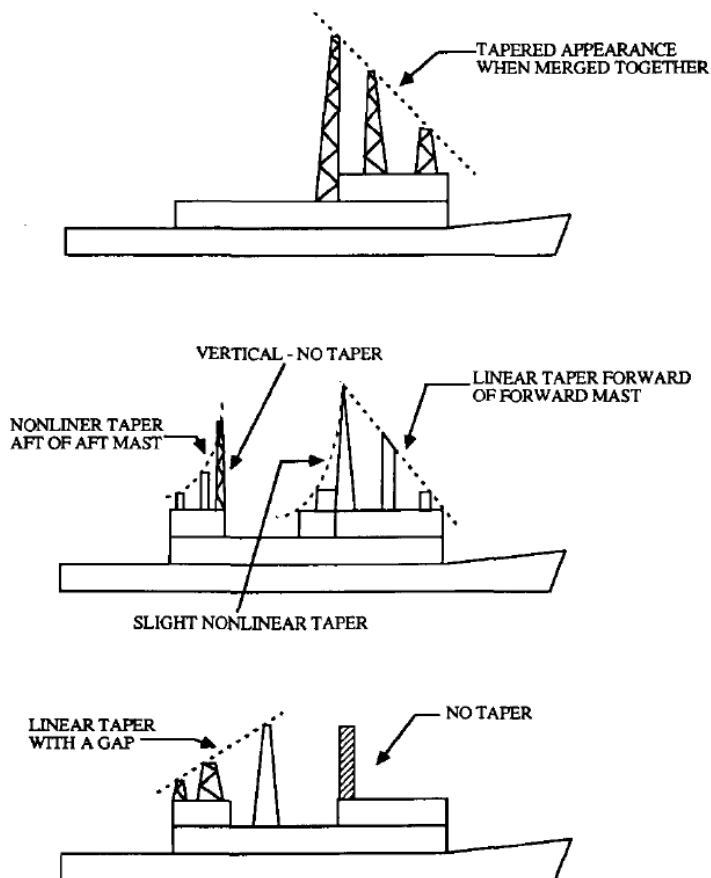
Obrázek 25: Blokové schéma systému BATTLE s funkcí na rozpoznávání plavidel. Převzato z [FRANKLIN, J., et al. 1988].



Na obrázku 26 je zobrazena jednoduchá kresba, která se expertovi (analytikovi) na vyhodnocování snímků ukázala velmi prospěšná při vysvětlování jeho logiky znalostnímu inženýrovi. Koncepty jako „zužují se stězně lineárně“ (Linear Taper), jsou pro obrazového experta důležité k identifikaci plavidel. Na obrázku jsou zobrazeny další koncepty jako nelineární zužování (Nonlinear Taper), lineární zužování s mezerou (Linear Taper with a Gap) nebo absence zužování (No Taper). Systém se může například zeptat, jestli se přední

stěžeň zužuje lineárně nebo nelineárně a tato odpověď bude následně vstupem do expertní analýzy.

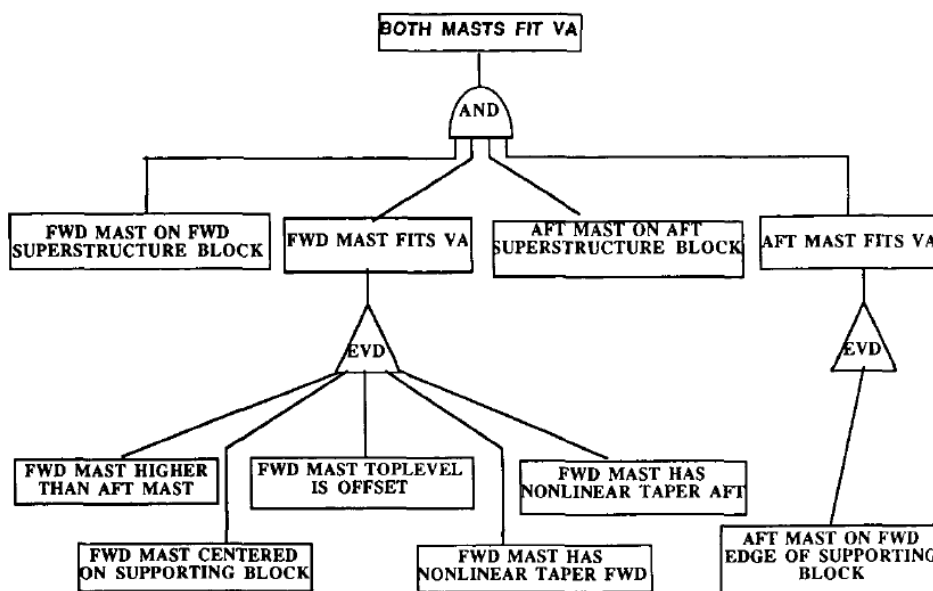
Obrázek 26: Popis tzv. stěžňového zúžení. Převzato z [FRANKLIN, J., et al. 1988].



Poté, co je operátor dotázán na přítomnost specifického znaku, například „nachází se na přídi lineární zúžení?“, bude operátor reagovat číslicí na stupnici -5 až +5. Hodnota -5 indikuje, že si je operátor jist, že tato charakteristika neexistuje a hodnota + 5 indikuje operátorovu jistotu, že je daný znak přítomen. Nula by znamenala, že operátor neví, zda je daný znak přítomen. Takto může operátor specifikovat svoji míru nejistoty / jistoty. Odpovědi jsou pak využity jako vstupy do inferenční sítě.

Typická síť je znázorněna na obrázku 27. Je důležité uvést, že obrázek 27 je pouze nevelkým podsouborem kompletní výpočetní sítě. V síti se kombinují booleovské operátory a bayesovské dokazovací funkce. Vstupy do této sítě mají vztah k jednotlivým znakům, které expert (analytik) na vyhodnocování obrazových dat pokládá za užitečné. Jak je vidět z obrázku, jsou tyto znaky spojeny s rozmístěním stěžňů a bloků nástavby a s přítomností lineárního a nelineárního zužování.

Obrázek 27: Příklad inferenční sítě (způsob rozhodování na základě existence posuzovaných prvků). Převzato z [FRANKLIN, J., et al. 1988].



Sled otázek se dynamicky mění podle strategie výhodnosti, jež je využita k redukci požadovaného množství otázek nutných k identifikaci plavidla (příklad kladení otázek je uveden níže). Dotazy a komentáře expertního systému BATTLE jsou uvedeny tučným písmem, lidské reakce kurzívou.

Otázka č. 1 BATTLE: Do jaké míry jste přesvědčeni, že profil má izolované zaměřovače na příďovém můstku s nelineárním zužováním?

Lidská reakce na otázku 1: (- 3)

Pozn.: všimněte si, že operátor není přesvědčen, že by tato podmínka byla přítomna.

Komentář BATTLE: Ani se nedomnívám, ani nepochybuji o možnostech plavidel tříd Forest Sherman, Bainbridge, Sverdlov, Coontz, Leahy, Belknap, Truxtun, California nebo Virginia. Pochybuji, že snímek 84 by mohl být plavidlo třídy Long Beach.

Pozn.: všimněte si, že v tomto bodě již expertní systém pochybuje, že je pravděpodobná třída plavidla Long Brach a ohledně zbytku zachovává neutrální postoj.

Otázka č. 2 BATTLE: Do jaké míry jste přesvědčeni, že profil má mezeru mezi zářovým stěžněm a blokem zářové nástavby?

Lidská reakce na otázku 2: (+ 5)

Pozn.: všimněte si, že operátor je přesvědčen, že je tento znak přítomen.

Komentář BATTLE: Přesvědčeně se domnívám, že snímek 84 je plavidlo třídy Coontz. Pochybuji, že snímek 84 by mohl být plavidlo třídy ForestSherman, Sverdlov, Leahy, Belknap, Truxtun, California nebo Virginia. Silně pochybuji, že snímek 84 je plavidlo třídy Bainbridge nebo LongBeach.

Pozn.: všimněte si, že expertní systém položil otázku využívající strategii výhodnosti k určení nejprospěšnější otázky k zodpovězení. Po odpovědi uživatele se již zaměřuje na třídu Coontz.

Tyto otázky pokračují a na konci expertní systém odpoví seznamem potencionálních klasifikací (identifikací) v pořadí podle priority. ES navíc uvede míru jistoty u jednotlivých klasifikací tříd (viz. tabulka 7).

Tabulka 7: Výsledná identifikace plavidel v pořadí dle míry jistoty. Podle [FRANKLIN, J., et al. 1988].

TŘÍDA	JISTOTA
Coontz	+4,9
California	-4,8
Bainbridge	-5,0
Truxtun	-5,0
Belknap	-5,0
Virginia	-5,0
Sverdlov	-5,0
Leahy	-5,0
ForestSherman	-5,0
LongBeach	-5,0

Komentář BATTLE: Přesvědčeně se domnívám, že snímek 84 je plavidlo třídy Coontz. Silně pochybuji, že snímek 84 je plavidlo třídy ForestSherman, Bainbridge, Sverdlov, LongBeach, Leahy, Belknap, Truxtun, California nebo Virginia.

Pozn. všimněte si, že expertní systém uvedl třídu Coontz jako první s faktorem jistoty plus 4,9. Třída California byla uvedena jako druhá, ale expertní systém si tím nebyl příliš jist, protože uvedl faktor jistoty -4,8. Zjevně nevěřil, že jde o třídu California nebo kteroukoliv z ostatních na seznamu. Toto je mimořádně prospěšný prvek, který může operátorovi pomoci v rozhodování, zda se spokojí se závěry expertního systému. V tomto případě si byl systém velmi jist, že jde o třídu Coontz a žádnou jinou.

Bylo prověřováno 119 obrázků, z toho 101 z vybraných tříd plavidel zastoupených v expertním systému. Dalších 18 patřilo plavidlům neobsaženým ve vybrané kategorii a expertní systém nevěděl o jejich existenci. Míra úspěšnosti byla 84 procent. V 85 ze 101 pokusů byla třída označená expertním systémem jako první správnou identifikací. V 94 ze 101 pokusů byl správný cíl uveden mezi pravděpodobnými identifikacemi. Expertní systém poskytl konzistentně užitečné rozlišení mezi třídou uvedenou jako první a mezi třídou uvedenou jako druhou. Sumarizace tohoto rozlišení je uvedena níže.

Správné pokusy:

- Průměrná jistota u třídy uvedené jako první byla 1,7.
- Průměrná jistota u třídy uvedené jako druhá byla -2,4.

To znamená, že systém obvykle nabídne jen jednu pravděpodobnou klasifikaci.

Nesprávné pokusy:

- Průměrná jistota u třídy uvedené jako první byla -0,16.
- Průměrná jistota u třídy uvedené jako druhá byla -0,99.

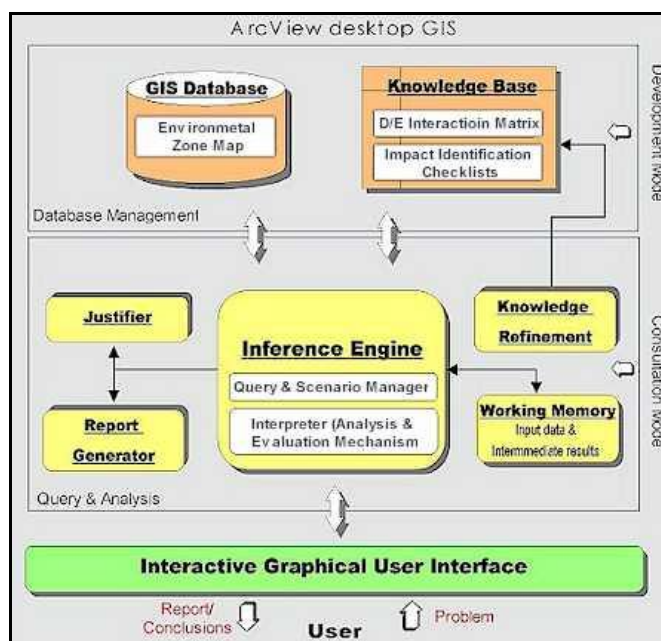
Za všimnutí stojí fakt, že v 84 procentech případů, kdy systém správně identifikoval plavidlo, byla průměrná míra jistoty expertního systému 1,7, což znamená relativně vysokou míru pozitivního přesvědčení, že je identifikace vybraná jako první správná. Míra jistoty expertního systému u třídy uvedené jako druhá byla -2,4 a to indikuje poměrně silnou míru jistoty, že nejde o správnou třídu. To pomáhá uživateli věřit ve výsledky expertního systému vzhledem ke značné separaci hodnot +1,7 a -2,4. V případech, kdy systém snímek identifikoval nesprávně, byla jeho míra jistoty u první volby -0,16. Systém si svou volbou

zjevně „nebyl jist“ a pravděpodobně by chtěl získat nový snímek a přidat další výsledky ještě před konečným výběrem.

7.3 KBGIS

V tomto případě se jedná o znalostní/expertní systém pokrývající oblast geografického (geoprostorového) využití. Odtud pramení i zkratka systému KBGIS (Knowledge Based Geographical Information System). V roce 1982 začal americký Úřad geologického průzkumu (US Geological Survey) vyvíjet KBGIS jako svůj projekt [Gebreslasie, G. 2009]. Z pohledu dnešních sofistikovaných programových vybavení patřících do GIS se zdá existence tehdejšího projektu jako skoro nereálná, nicméně opak byl pravdou. Definičně je KBGIS vymezen jako komplexní a ucelené propojení GIS a znalostního / expertního systému [VELDIC, V. 2002]. Systém je tvořen čtyřmi základními moduly, kterými jsou uživatelské rozhraní, databázový modul, analytický a dotazovací modul a modul generující hlášení a konečné zobrazení. Na obrázku 28 je zobrazena architektura KBGIS a vazby mezi moduly, vše vytvořené na programové platformě ArcView od společnosti ESRI. Další programovou platformou využívanou v systémech KBGIS je produkt Erdas Imagine od společnosti LEICA [Gebreslasie, G. 2009].

Obrázek 28: Architektura KBGIS. Převzato z [VELDIC, V. 2002].



Je zřejmé, že KBGIS nabízí řešení v mnoha sférách využití. Z pohledu tématu této práce se ale zaměříme na využití systému ve vojenských aplikacích. V tomto případě je systém využit a začleněn v plánovacím procesu vedení a řízení bojové činnosti v rovině komplexní integrace do prvků velení a řízení CI4 (Command, Control, Communication, Computer, Information) [Gebreslasie, G. 2009]. Fází, ve které je systém využit, je tzv. zpravodajská příprava bojiště, konkrétně geografická (geoprostorová) podpora rozhodovacího procesu týkající se vyhodnocení vojensko - geografických aspektů (někdy je také nazývána terénní analýza).

V rámci tohoto procesu systém řeší například následující úkoly týkající se podpory vojenských operací [BAIJAL, R., et al. 2002]:

- Výběr míst pro stavbu mostních konstrukcí - nalezení vhodných míst pro stavbu jak pevných, tak plovoucích mostů. Musí být uvažována kritéria jako hloubka vody, rychlost proudu vody, svažítost břehů, typ půdy, druh povrchu apod.
- Výběr míst pro přistání vrtulníků - nalezení vhodného místa pro přistání vrtulníků (bojové, záchranné, podpůrné důvody). Posuzovanými parametry jsou okolní zástavba, okolní porosty a terén, druh půdy a povrchu, svažítost, elektrické vedení aj.
- Vyhodnocení takticky vhodných tras přesunu - nalezení vhodných tras z hlediska taktického plánování jako celku a jeho omezení (mosty, brody, klíčová místa, riziková místa atd.)
- Vyhodnocení možností přesunu - podpora výběru trasy dílčího přesunu vzhledem ke konkrétnímu typu techniky (pásový a kolový podvozek). Atributy jsou přírodní překážky, svažítost, druh půdy a povrchu apod.

Od systému se očekává, že na základě požadavků vycházejících z plánovacího procesu odpoví co nejpřesněji, nejoptimálněji a nejrychleji na výše uvedené druhy úloh tak, aby co nejefektivněji nahradil lidského experta (analytika GEO).

Znalostní základnu systému tvoří geoprostorové informace, které jsou získávány ze satelitních, leteckých a pozemních optoelektronických snímků a mapových podkladů. Získání těchto znalostí se děje buď automaticky (pomocí metod klasifikace v systému Erdas Imagine), nebo ručně (manuálně) a to digitalizací jednotlivých geoprostorových prvků (most, brod, silnice, vedení, aglomerace, geologické podloží, svažítost aj). Ke každému z těchto prvků se váže atributová tabulka, popisující jeho vlastnosti a dávající v konečném důsledku jeho

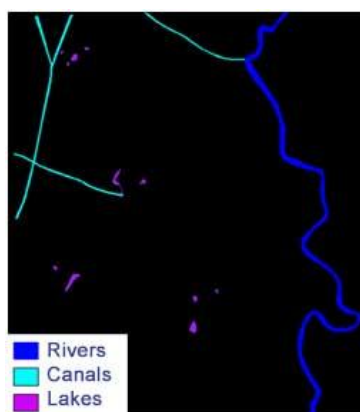
parametry použité v rámci jednotlivých pravidel ES. Také jsou zahrnuty i zkušenosti lidských expertů (například kvalita a druh říčního břehu ovlivňující stavbu plovoucího mostu ve vazbě na rizika pramenící z ročního období, intervalu použití nebo druhu bojové činnosti). Příklad vlivu svažitosti terénu na druh techniky je uveden v tabulce 8. Tyto parametry jsou důležité například při řešení úlohy vyhodnocující možnosti přesunu jednotek, materiálu výzbroje.

Tabulka 8: Vliv úrovně svažitosti terénu na průchodnost vozidel. Podle [Gebreslasie, G. 2009].

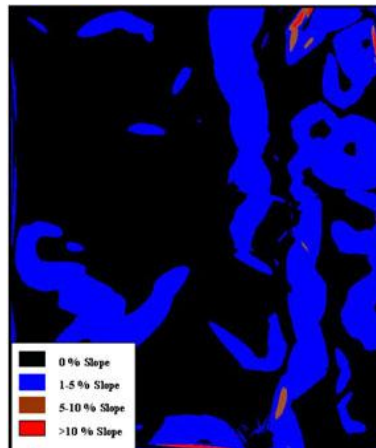
Úroveň svažitosti terénu	PRŮCHODNOST	
	Pásová technika	Kolová technika
Méně než 5	Snadné	Průchodné
5-10	Průchodné	Průchodné pomalu
10-20	Průchodné pomalu	Průchodné velmi pomalu
20-25	Průchodné velmi pomalu	Průchodné s velkými obtížemi
Více než 25	Průchodné s velkými obtížemi (25-30)	Neprůchodné

V případě, že je znalostní základna naplněna, jsou pro každou skupinu prvků vytvořeny jednotlivé vrstvy (tzv. vrstvy pokrytí). Příklady těchto vrstev jsou uvedeny na obrázcích 29 a 30. Vrstvy jsou geoprostorově orientované a je možné je zobrazovat podle potřeby uživatele.

Obrázek 29: Vrstva pokrytí obsahující informace o vodních prvcích (řeky, kanály, jezera). Převzato z [BAIJAL, R., et al. 2002].

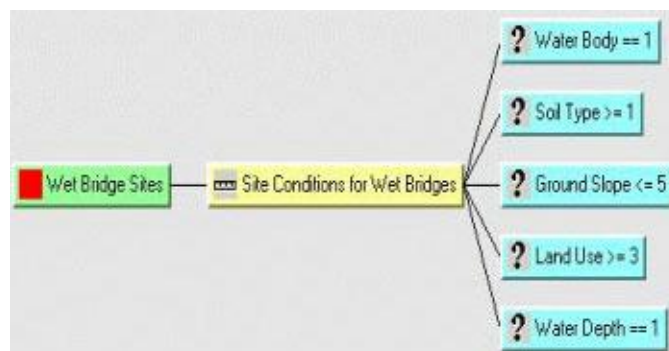


Obrázek 30: Vrstva pokrytí zobrazující informace o svažitosti terénu. Převzato z [BAIJAL, R., et al. 2002].



Na základě informací z těchto vrstev a s vazbou na údaje obsažené v atributových tabulkách se provádí jednotlivé inferenční procedury (pravidla) podle požadovaného typu řešené úlohy. Jako příklad uveďme výběr vhodného místa pro stavbu pontonového mostu. Jak již bylo zmíněno výše, je nutné uvažovat tyto prvky: typ vodního prvku (Water Body), svažitost břehu (Slope), typ půdy (Soil Type), způsob využití půdy (Land Use), hloubku vody (Water Depth). Rozsah použité znalostní základny je uveden na následujícím obrázku.

Obrázek 31: Znalostní základna pro řešení úlohy výběru vhodného místa pro stavbu pontonového mostu. Převzato z [BAIJAL, R., et al. 2002].



Pravidlo pro výběr vhodného místa poté vypadá takto:

IF Water Body = River

AND Slope <= Plain

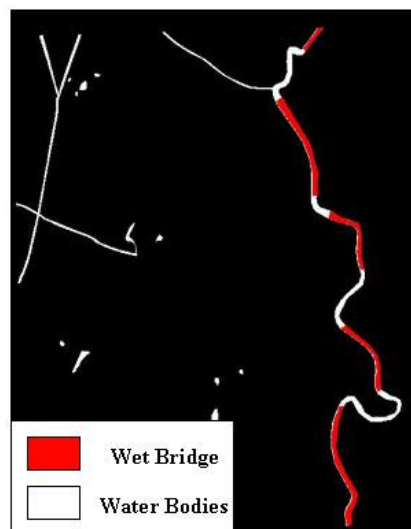
AND Soil Type >= Sand

AND Land Use >= Cultivated Area or River or Canal

AND Water Depth = Adequate
THEN Suitable for Wet Bridging

Po dokončení pravidla je výsledek reprezentován geoprostorovou tematickou vrstvou zobrazující vyhodnocená vhodná (pravděpodobná) místa pro stavbu mostní konstrukce (viz. obrázek 32). V případě řešení více úloh je pro každou takovouto úlohu vytvořena nová vrstva. Pokud má uživatel potřebu, může tyto vrstvy vzájemně kombinovat tak, aby dostal požadovaný výsledek potřebný pro plánovací proces.

Obrázek 32: Výsledná vrstva zobrazující vhodná místa pro stavbu mostní konstrukce. Převzato z [BAIJAL, R., et al. 2002].



7.4 FRIEND – FOE / FIRE DECISION

Jak v minulých, tak i v současných bojových situacích dochází ke ztrátám na lidských životech z důvodu neúmyslné střelby do vlastních řad (tzv. Friendly Fire). Řešení tohoto negativního prvku je na místě, je přínosné a žádoucí. A právě tuto problematiku se snaží určitým způsobem pokrýt níže pospaný patent.

Tvorba rozhodnutí o zahájení střelby v bojové situaci je obtížný proces. Záležitosti jako strach, hněv, urgenost, panika aj, mají zajisté na tento rozhodovací proces negativní vliv. Rozhodnutí nicméně přijato být musí a to v krátkém časovém intervalu. Velitel, jenž je odpovědný za přijatá rozhodnutí musí s těmito faktory počítat, a to v komplexní rovině výskytů. Je zřejmé, že existence systému, který by efektivně, rychle a přesně ohodnotil situaci před tím, než dojde ke konečnému rozhodnutí (rozkazu) pro provedení střelby, je velmi důležitá.

Patent s anglickým názvem Friends or Foe Detection System and Method and Expert System Military Action Advisory System and Method popisuje využití expertního systému týkajícího se tvorby rozhodnutí o provedení střelby na cizí (nepřátelský cíl) a to společně s integrací prvku identifikace vlastních a cizích jednotek [LEMELSON, J. 2000]. Systém je schopný určit pozici vlastních a cizích jednotek a vytvářet rozhodnutí o zahájení střelby tak, aby nedošlo k ohrožení vlastních jednotek. Toto se děje na základě stanovení tzv. střeleckého indexu (viz. dále). Systém jako celek umožňuje stanovit míru rizika (ohrožení) vlastních jednotek nacházejících se v zájmovém prostoru (prostoru bojiště), jež jsou vystaveny nebezpečí z důvodu existence možnosti bezprostřední vojenské akce.

Pro určení střeleckého indexu jsou definovány tzv. fuzzy proměnné. V procesu stanovení co nejvhodnějšího rozhodnutí o vykonání střelby se pak využívá fuzzy logiky. Fuzzy proměnnými jsou:

- Priorita cíle – která nabývá hodnot (Nízká, Střední, Vysoká).
- Vzdálenost vlastních sil od cíle - která nabývá hodnot (Blízká, Střední, Daleká).
- Zbraňový rádius - která nabývá hodnot (Nízký, Střední, Vysoký).

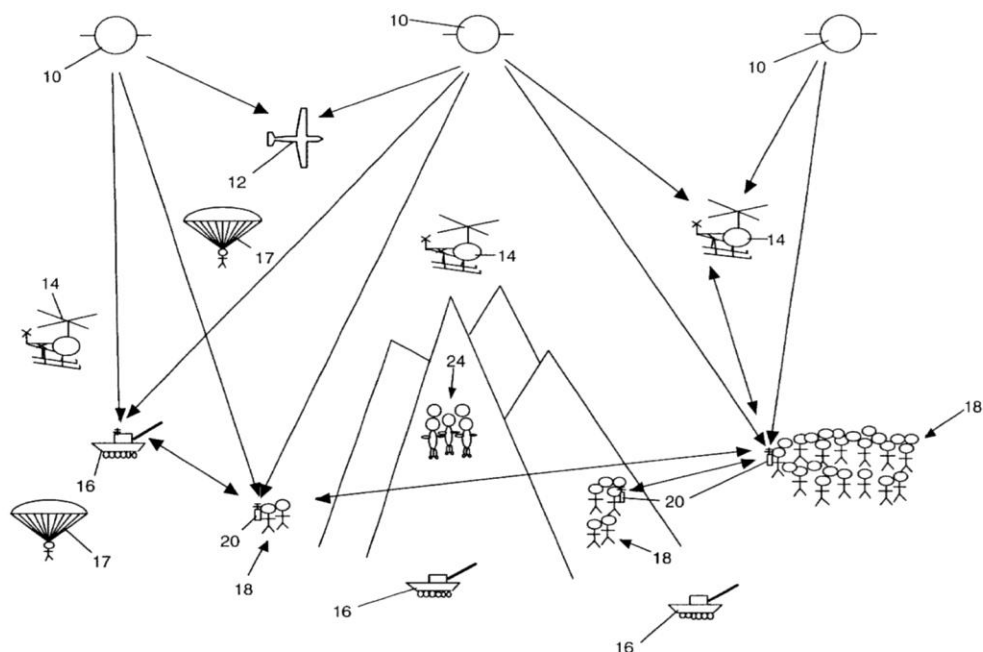
Hodnoty střeleckého indexu pak mohou být definovány jako: Nízký, Střední, Vysoký.

Informace o geografické poloze a statusu (vlastní – cizí) jsou vysílány každé jednotce. Geografická poloha nejméně jednoho uvažovaného nepřátelského cíle se vypočítává s ohledem na to, zda-li se tato jednotka chystá zahájit útočnou akci. Mezi jednotlivými

jednotkami dochází k vysílání varovného hlášení, aby byla varována vlastní jednotka nacházející se v blízkosti předpokládaného vojenského (nepřátelského) cíle. Každé jednotce se vypočítává střelecký index korespondující s její lokací, lokací cíle, prioritou cíle a rádiusem destrukce munice. Střelecký index je potom vyslán k jednotce nacházející se v blízkosti uvažovaného nepřítele. Na základě vlastnictví informace o střeleckém indexu od vlastních sil, jednotka rozhodne zda zahájit nebo ne zahájit střelbu.

Na obrázku 33 je zobrazena situace vlastních a cizích jednotek (20) na bojišti. Tyto jednotky zahrnují letouny (12), vrtulníky (14) a pozemní vozidla (16). Varovanými jednotkami jsou převážně pozemní jednotky (18) a výsadkové jednotky (17). GPS prostředky jsou využity pro určení přesné polohy vlastních a cizích sil. Na obrázku jsou zobrazeny vlastní jednotky obklopené nepřátelskými vojsky (24). Vlastní jednotky používají systém identifikace vlastní-cizí a metody pro detekci jejich vlastních sil a dále detekci a pomoc v prevenci pro zaútočení na vlastní jednotky.

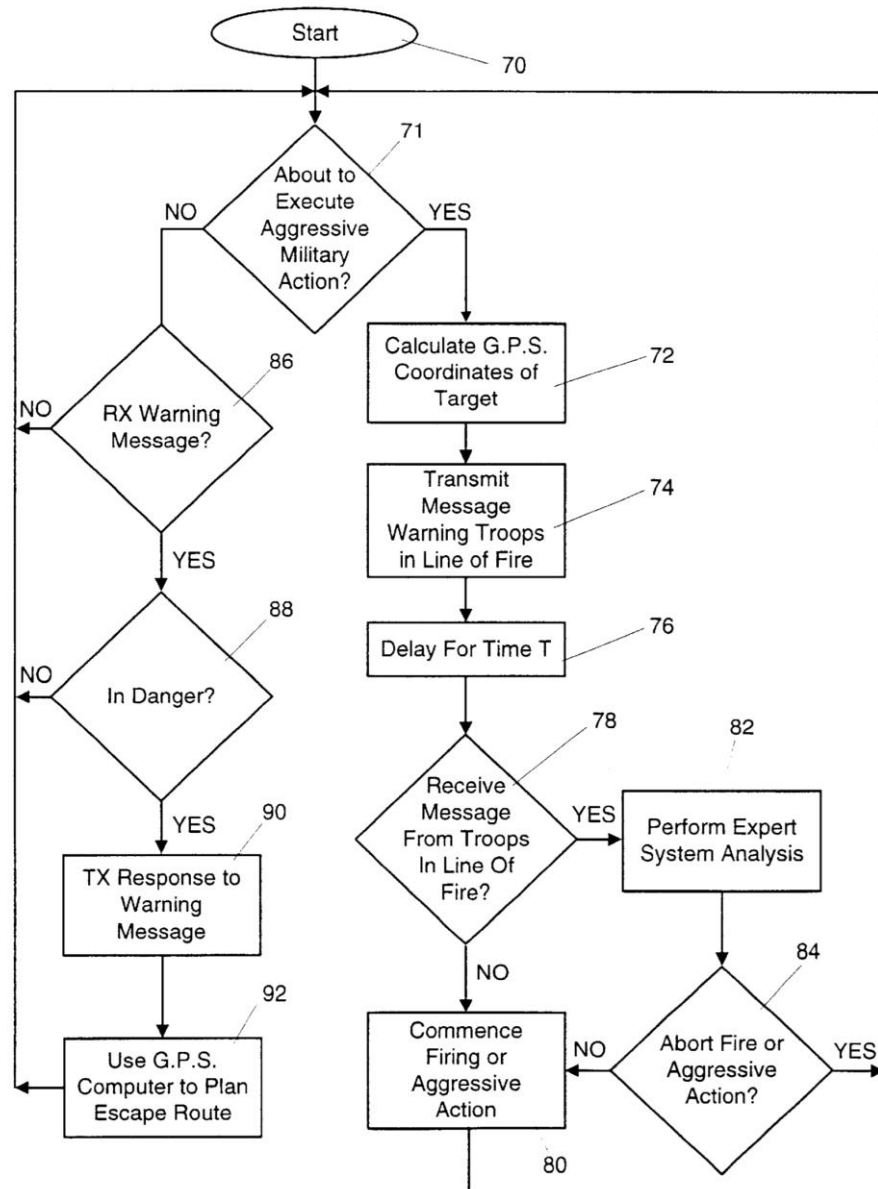
Obrázek 33: Situace a rozmístění sil a prostředků na bojišti. Převzato z [LEMELSON, J. 2000].



Vývojový diagram na obrázku 34 zobrazuje algoritmus postupu činnosti při stanovení rozhodnutí o zahájení / nezahájení střelby. V bloku 71 se provádí rozhodnutí, zda-li se daná jednotka chystá provést útočnou vojenskou akci (střelba, odpálení rakety apod.). Pokud ANO, dochází v bloku 72 k výpočtu GPS souřadnice předpokládaného cíle, jenž se chystá provést protiúder. Vlastní jednotka vyšle zprávu všem ostatním vlastním jednotkám nacházejícím se v blízkosti polohy předpokládaného nepřátelského cíle (blok 74). Vyslaná zpráva může obsahovat GPS souřadnice cíle a souřadnice oblasti ohrožení. Poté jednotka čeká předdefinovaný čas T na zpětnou (potvrzující) zprávu od ostatních jednotek, jež mohou být v nebezpečí kvůli uvažované bezprostřední vojenské akci (blok 76). Interval času T je zvolen tak dlouhý, aby umožnil přijetí zpráv od ostatních vlastních jednotek a zároveň neumožnil ústup nepřátelských jednotek, pokud dojde k prozrazení komunikace. Poté se porovnává situace, zda-li jednotka přijala jakoukoliv odpověď od vlastních jednotek (blok 78). Pokud nebyly přijaty žádné zpětné informace, může dojít k zahájení střelby nebo jiné útočné vojenské operace (blok 80). Nicméně pokud byly přijaty informace od vlastních jednotek, dochází k provedení analýzy situace pomocí **expertního systému** (blok 82). V případě, že se v cílové oblasti nachází vlastní jednotky, je posuzováno zrušení střelby / vojenské akce (blok 84). Pokud tomu tak není, algoritmus pokračuje do bloku 80. Pokud tomu tak je, algoritmus se vrací do úrovně bloku 71.

Na druhé straně, pokud se daná jednotka nechystá provést útočnou akci, algoritmus přechází z bloku 71 do bloku 86, kde se porovnává, zda-li existují varovné zprávy indikující situaci, jestli se jakákoliv jiná jednotka nacházející se v prostoru bojiště chystá provést vojenskou akci. Pokud tomu tak není, algoritmus se vrací zpět do bloku 71. Nicméně pokud tomu tak je, posuzuje se, zda-li je jednotka v nebezpečí z důvodu její geografické pozice. Pokud není, algoritmus přechází zpět do bloku 71. Pokud nebezpečí existuje, jednotka vysílá zpětné varovné hlášení, proto aby byly varovány ostatní jednotky, které se například chystají nebo provádí útočnou akci (blok 90). Současně probíhá výpočet a stanovení efektivního ústupového plánu z prostoru ohrožení (blok 92).

Obrázek 34: Algoritmus postupu činnosti při stanovení rozhodnutí o zahájení / nezahájení střelby. Převzato z [LEMELSON, J. 2000].



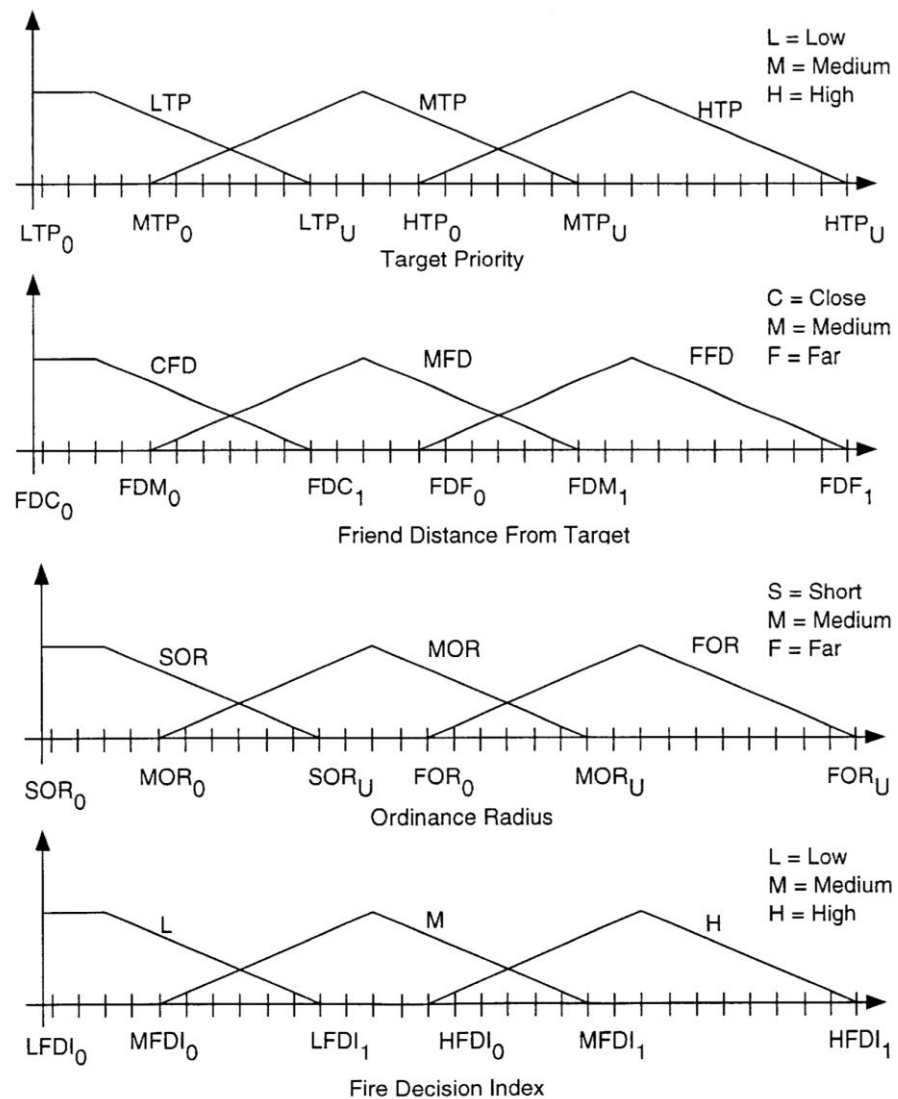
Fuzzy logické regulátory (Controllers) vykonávají fuzzy logická inferenční pravidla z fuzzy logické pravidlové báze. Vstupy a výstupy proměnných jsou definovány jako prvky fuzzy množin se stupněm členství vztahujícím se k fuzzy množinám, determinovaným pomocí specifických funkcí příslušnosti. Pravidlová báze definuje fuzzy inferenční systém a je založená na znalostech experta.

Na následujícím obrázku jsou uvedeny fyzicky logické lingvistické proměnné pro výpočet střeleckého indexu rozhodnutí. Těmito jsou prioritou cíle (Target Priority), vzdálenost

vlastních sil od pozice cíle (Friend Distance from Target), zbraňový rádius (Ordnance Radius) a střelecký index (Fire Decision Index).

Jako příklad si uveďme fuzzy logickou proměnnou Priorita cíle (Target Priority), která nabývá hodnot Nízká, Střední, Vysoká. Fuzzy množina korespondující k nízké prioritě cíle (LTP) je množina všech priorit cíle mezi hodnotami 0 a horní definovanou vzdáleností LTPu. MTP je množina všech priorit cíle mezi nízkou definovanou MTP0 a vyšší definovanou MTPu (Upper). HTP je množina všech priorit cíle mezi nejnižší hranicí HTP0 a horní definovanou HTPu. Platí, že $MTP_0 < LTP_u$ a $HTP_0 < MTP_u$, přičemž dochází ke vzájemnému překryvu množin. Překryvy pro ostatní fuzzy logické proměnné Friend Distance from Target, Ordnance Radius a Fire Decision Index jsou zobrazeny v pořadí níže.

Obrázek 35. Fuzzy logické proměnné pro výpočet střeleckého indexu rozhodnutí. Převzato z [LEMELSON, J. 2000]



V následujících tabulkách 9 až 11 jsou zobrazena fuzzy logická pravidla rozhodnutí, jež determinují střelecký index rozhodnutí pro určité množiny podmínek, s nimiž se systém detekce vlastní cizí může setkat. V první tabulce je uveden případ, kdy při hodnotách nízké priority cíle, daleké vzdálenosti vlastních sil, dalekému zbraňovému radiusu je potom přiřazena nízká hodnota střeleckého indexu. Další tabulka ukazuje případ přiřazení střední hodnoty střeleckého indexu a to za situace, kdy priorita cíle je střední, zbraňový radius je střední a vzdálenost vlastních sil je také střední. Poslední případ se vztahuje k situaci, kdy je hodnota střeleckého indexu vysoká. V tomto případě je priorita cíle vysoká, zbraňový radius je daleký a vzdálenost vlastních sil je daleká. Střelecký index je použit k determinaci situace, zda-li zahájit nebo ne zahájit střelbu.

Tabulka 9. Příklad přiřazení nízké hodnoty střeleckého indexu. Podle [LEMELSON, J. 2000]

TARGET PRIORITY = LOW			
FRIEND DISTANCE	CLOSE	MEDIUM	FAR
ORDNANCE RADIUS			
SHORT	LOW	MEDIUM	HIGH
MEDIUM	LOW	LOW	MEDIUM
FAR	LOW	LOW	LOW

Tabulka 10. Příklad přiřazení střední hodnoty střeleckého indexu. Podle [LEMELSON, J. 2000]

TARGET PRIORITY = MEDIUM			
FRIEND DISTANCE	CLOSE	MEDIUM	FAR
ORDNANCE RADIUS			
SHORT	MEDIUM	HIGH	HIGH
MEDIUM	LOW	MEDIUM	HIGH
FAR	LOW	LOW	MEDIUM

Tabulka 11. Příklad přiřazení vysoké hodnoty střeleckého indexu. Podle [LEMELSON, J. 2000]

TARGET PRIORITY = HIGH			
FRIEND DISTANCE	CLOSE	MEDIUM	FAR
ORDNANCE RADIUS			
SHORT	HIGH	HIGH	HIGH
MEDIUM	MEDIUM	HIGH	HIGH
FAR	LOW	MEDIUM	HIGH

8 Závěr

Cílem diplomová práce byl co nejkomplexnější popis a charakteristika aplikací expertních systémů využitých ve vojenských, potažmo bezpečnostních oblastech. Je možné říci, že se tento cíl podařilo určitým způsobem naplnit. Pravděpodobně hlavním limitujícím faktorem je omezená dostupnost informací (primárních, sekundárních aj.). Jedná se o omezenou dostupnost jak v rámci časového pokrytí vývoje a využívání těchto aplikací, tak především v rámci regulovaného (režimového) přístupu k informacím, pramenící z utajovaného charakteru využití vojenských a bezpečnostních aplikací expertních systémů (který ale na druhé straně poskytuje technologický a vojenský náskok před potenciálním protivníkem či nepřítelem).

To, že existuje limitující přístup k informacím týkajících se vojenských aplikací expertních systémů, nebo se o nich tolik nepíše, neznamená, že existují v menší míře, než aplikace v civilních oblastech. Může tomu být s velkou pravděpodobností naopak. Uvědomme si, že právě z důvodu utajení se o některých aplikacích dovíme až po skončení operačního použití. Tyto aplikace z důvodu existence inovativních postupů, prvků, technologií apod. poté mohou být využívány v civilních oblastech. Zda-li je tedy cíl práce naplněn, může záviset podle mého názoru také na pohledu čtenáře, zejména s naplněním jeho informačního očekávání.

První část práce, jež se věnovala teoretickým aspektům expertních systémů, plně dostačuje k základnímu pochopení problematiky tak, aby bylo možné se orientovat v následných popisech aplikací vojenských a bezpečnostních expertních systémů. Z terminologického hlediska je nutné uvést, že expertní a znalostní systém se mohou vzájemně prolínat. Problematická může být skutečnost, že se mnohdy aplikování expertních systémů neprojeví v názvu příslušného systému. Někdy také bývá obtížné rozlišit expertní systém od znalostního systému. Například v rámci vojenského užití existuje řada systémů pro podporu rozhodování obsahující subsystemy či prvky, které mají s expertními či znalostními systémy leccos společného.

Hlavní část práce je věnována popisu vojenských a bezpečnostních aplikací expertních systémů. Aplikace ES jsou rámcově a geograficky ohraničené co do místa a původu, nebo oblasti využití. Co vidím jako kladný prvek; že se podařilo průřezově pokrýt celé spektrum vojenských složek a to pozemních, vzdušných, námořních a vševojskových. Nicméně většina popsaných aplikací se týká použití v rámci ozbrojených sil USA. A toto není dobré. I když

můžeme brát v úvahu armádu Spojených států amerických jako jakýsi technologický etalon v rovině aplikací, je škoda, že se nepodařilo popsat aplikace ES ve vojenských složkách ostatních států. Zejména aplikační oblast ruské armády může být velmi zajímavá, nicméně z důvodu nedostatečné znalosti ruského jazyka, jsem tyto aplikace neuvedl. Na informační mezeru, na kterou bych chtěl poukázat, je skutečnost, že se mi nepodařilo popsat aplikace expertních nebo znalostních systémů využívaných či vyvíjených ozbrojenými složkami České republiky, nebo jinými složkami bezpečnostní komunity ČR. Jsem přesvědčen, že tyto aplikace existují a využívají se (i když ne v takové míře, jako je tomu v USA nebo jiných zemích), nicméně nejsou bohužel zdrojově nebo administrativně (stupeň utajení) dostupné.

Co se týká popisu jednotlivých aplikací ES (zejména v kapitole 7) není na místě (především z důvodu již zmiňované omezené dostupnosti literatury) hodnotit detailně funkčnost systémů, kterou tak není možné doložit například srovnávací nebo argumentační analýzou.

Obecně lze říci, že v určitých aspektech využití ES je vojenská a bezpečnostní oblast prakticky totožná s civilní sférou. Jedná se především o usnadnění činnosti a šetření nákladů a ve vojenské oblasti především ochrana živé síly (samotných vojáků) a to nahrazením experta (operátora, analytika, velitele aj.) a vyloučením jeho lidských nevýhod. Na druhou stranu existuje řada aplikačních oblastí expertních systémů, kde není použití ES zcela vyřešeno, není tak technologicky zcela efektivní, existuje chybovost a nepřesnost (například vyhodnocení zájmové oblasti z obrazového snímku - extrakce informací, kdy je nutné zahrnovat komplexní lidskou heuristiku, lidské uvažování, zdravý rozum apod.). Nicméně tyto jevy budou s velkou pravděpodobností vyřešeny s postupným vývojem programových a technických platforem.

Na rozdíl od většiny civilních aplikací je nutné u vojenských a bezpečnostních aplikací expertních systémů počítat s faktory a požadavky, jakými jsou například požadavky na utajení (administrativní, personální a fyzická bezpečnost), požadavky související s rychlou (nenadálou) změnou bojové činnosti nebo vedení asymetrického způsobu boje, požadavky na okamžité velkoobjemové zpracování informací (textové, obrazové, hlasové aj.) nebo požadavky na snižování ohrožení lidské síly a materiálu (vojenské, nevojenské).

Když pomínu diagnostické aplikace expertních systémů, osobně vidím jako největší oblast pro vojenská a bezpečnostní využití ES v rovině podpory rozhodovacího procesu velitele a to na jakémkoliv stupni (taktickém, operačním, strategickém). Soudobý boj se stává rychlejší, s enormním množstvím všech zdrojových informací a současně s existencí menšího

časového intervalu na vydání rozhodnutí. V souvislosti s tímto hrozí zahlcení velitele a možnost vydání špatného (chybného) rozhodnutí (rozkazu), jež může vést až ke zbytečným materiálním a lidským ztrátám. Zde tedy pramení existence ES v podobě jakéhosi "universálního velitele", jenž efektivně a komplexně pokryje celý rozhodovací proces společně s fúzí všech zdrojových informací (jakási integrace kompletního zpravodajského cyklu) a navíc například s účinným vysvětlujícím a simulačním modulem, který bude například schopný před samotnou vojenskou akcí předvést simulaci a vysvětlení celé situace na bojišti na základě zadaných požadavků společně se schopností predikce budoucího vývoje situace.

Na základě mých dlouholetých zkušeností z vojenské oblasti či z nasazení v mírových i bojových vojenských operacích, mohu určitým způsobem z vlastního pohledu posoudit některé aplikace ES popsané v této práci. Systém MBEES hodnotím jako velmi přínosný a účinný. Nahrazuje experty EOD, odstraňuje personální limity a zvyšuje efektivitu návrhů nasaditelných prostředků v rovině eliminace jejich zničení a poškození. Hlavně slouží pro použití v laickém prostředí, kde není zapotřebí existence EOD experta přímo na místě (na předsunuté nebo odloučené bojové základně malého rozsahu apod.). V případě existence EOD experta na místě slouží jako efektivní poradní prvek. Také výukové a tréninkové schopnosti jsou přínosné.

Co se týká systému FRIEND – FOE / FIRE DECISION (patent Friends or Foe Detection System and Method and Expert System Military Action Advisory System and Method) z mého pohledu je zřejmé, že pokud by měl takovýto systém běžet v reálném čase, bude s velkou pravděpodobností velmi závislý na celkové architektuře komunikačních prostředků na bojišti, zejména co se týká použití například u konečného taktického stupně nebo jednotlivce. V případě větší časové prodlevy by mohl být systém neefektivní, či dokonce kontraproduktivní a to především v případě vedení pozemní asymetrické operace. Pro vedení klasických vojenských operací rotních, praporních, plukovních uskupení aj. je využití systému na místě, nicméně v současné době technologicky taktéž náročnější.

Systémy BATTLE, ADRIES a KBGIS jsou pro mě diskutabilní. Nemám na mysli báze znalostí nebo způsoby inference systémů. Samotný princip a účel daných ES jsou přínosné, účelné a velmi podpůrné. Jde mi ale především o extrakci informací ze snímků. I v současné době se extrakce dat jak z elektrooptických, tak z radarových snímků stále potýká s nepřesnostmi. Osobně jsem k jakékoliv automatické extrakci a následnému automatickému rozpoznání objektů a prvků (plavidlo, vozidlo, letoun) na snímku s vysokým prostorovým

rozlišením velmi skeptický. A zejména pokud se ještě jedná o radarové snímky, které mají při různých úhlech získání obrazu zcela jiné charakteristiky zobrazení zájmové oblasti.

Řekl bych, že bude trvat ještě několik let, než dojde ke skutečně efektivnímu a hlavně spolehlivému nahrazení oka analytika obrazových snímků. I když je lidské oko určitým způsobem nedokonalé, tak ho bohužel stále nelze nahradit v interpretaci toho, co se nachází na snímku. Není to jenom o hodnotě jednotlivých pixelů, ale o celkovém pocitu a vjemu každého analytika. Jiné světelné podmínky znamenají jiné hodnoty pixelů, nicméně prvek je stále tentýž. A toto se zatím nepodařilo žádný "stroj" efektivně naučit.

Věřím, že diplomová práce částečně poodkryla možnosti využití expertních systémů ve vojenských a bezpečnostních oblastech. Závěrem bych pouze uvedl: když je vidět, jaké vojenské aplikace expertních systémů existovaly v 80. letech 20. století, potom lze pouze spekulovat, co existuje nyní a jaké projekty vojenských a bezpečnostních expertních systémů jsou ve vývoji.

Seznam obrázků

1. Základní blokové schéma struktury expertního systému.....	13
2. Rozšířené blokové schéma struktury expertního systému.....	13
3. Slovní proměnná „rychlost robotu“.....	24
4. Graf počtu vyvinutých expertních systémů ve vybraných oblastech v období let 1980 – 1992.....	33
5. Příklad závěrů týkající se analýzy podmínek inverze a vysvětlujícího formuláře týkající se analýzy podmínek směru větru za frontálním útvarem.....	44
6. Ukázka postupu návrhu požadované struktury (volba parametrů objektu).....	46
7. Grafické znázornění vyhodnocení zranitelných míst posuzovaného objektu.....	47
8. Navržená struktura pomocí MBEES a ukázka praktického testu odolnosti.....	47
9. Vazby funkcí systému SEAT.....	49
10. Blokové schéma systému na vyhodnocování dokumentu.....	51
11. Funkční síťové schéma ESOF.....	51
12. Příklad poradní informační zprávy a vysvětlující informační hlášení systému ESP....	52
13. Bayesovský model rozhodování v ADRIES.....	55
14. Dekompozice (přehled) agentů v ADRIES.....	58
15. Část vztahů pro generické modely sil.....	59
16. Sémantická síť praporu.....	60
17. Příklad rozhodovacího řetězce pro formaci (sestavu) protiletadlového raketového prostředku SA-6.....	61
18. Hierarchie bayesovské inference.....	62
19. Příklad generování bayesovské sítě.....	64
20. Část sítě lokace (rozmístění) dělostřeleckých zbraňových systémů.....	67
21. Příklad alokačního stromu.....	68
22. Zeštíhlený příklad alokačního stromu (použité heuristické vyhledávání).....	69
23. Koncept výhodnosti.....	70
24. Porovnání dotazovacích strategií.....	71
25. Blokové schéma systému BATTLE s funkcí na rozpoznávání plavidel.....	72
26. Popis tzv. stěžňového zúžení.....	73
27. Příklad inferenční sítě (způsob rozhodování na základě existence posuzovaných prvků).....	74

28. Architektura KBGIS.....	77
29. Vrstva pokrytí obsahující informace o vodních prvcích (řeky, kanály, jezera).....	79
30. Vrstva pokrytí zobrazující informace o svažitosti terénu.....	80
31. Znalostní základna pro řešení úlohy výběru vhodného místa pro stavbu pontonového mostu.....	80
32. Výsledná vrstva zobrazující vhodná místa pro stavbu mostní konstrukce.....	81
33. Situace a rozmístění sil a prostředků na bojišti.....	83
34. Algoritmus postupu činnosti při stanovení rozhodnutí o zahájení / nezahájení střelby.....	85
35. Fuzzy logické proměnné pro výpočet střeleckého indexu rozhodnutí.....	86

Seznam tabulek

1. Příklad rámce a jeho struktury.....	21
2. Příklad fuzzy množiny – střední věk.....	23
3. Možnosti použití expertních systémů.....	35
4. Přehled vybraných vojenských a bezpečnostních aplikací ES.....	36
5. Seznam 11 prvků charakterizujících počasí a přidělené pravidla.....	43
6. Scénář alokace 4 zbraní ke 3 cílům.....	66
7. Výsledná identifikace pravidel v pořadí dle míry jistoty.....	75
8. Vliv úrovně svažitosti terénu na průchodnost vozidel.....	79
9. Příklad přiřazení nízké hodnoty střeleckého indexu.....	87
10. Příklad přiřazení střední hodnoty střeleckého indexu.....	87
11. Příklad přiřazení vysoké hodnoty střeleckého indexu.....	88

Použité zdroje

- ALDRIDGE, J. 1984. *AIRID: An application of the KAS/Prospector expert system builder to airplane identification*. In SPIE Conference, Bellingham, WA, USA: Los Alamos National Lab, 1984. NM. Technical report. LA-UR-84-988. 8.p.
- BAIJAL, R., et al. 2002. *A GIS Assisted Knowledge-Based Approach for Military Operations* [online]. Geomatics Engineering Section, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Roorkee. C GISdevelopment.net. 2002 [cit. 2012-01-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.gisdevelopment.net/application/military/overview/militaryo0001.htm>>.
- BERKA, P., et al. 1998. *Expertní systémy* [online]. Skripta VŠE. 1998 [cit. 2011-11-24]. Dostupný z: <<http://sorry.vse.cz/~berka/4IZ229/>>
- CALLERO, M., et al. 1984. *TATR (Tactical Air Target Recommender): A Prototype Expert System for Tactical Air Targeting*. Rand Corp Santa Monica CA. 1984. 89 p. Interim report
- CELBOVÁ, I. 1999. *Úvod do problematiky expertních systémů*. Ikaros [online]. 1999, roč. 3, č. 8 [cit. 2011-11-24]. Dostupný z: <<http://www.ikaros.cz/node/393>>
- Defence Research and Development Canada. 2008. *Military Blast Effects Expert System (MBEES) : A Deployable Tool that Rapidly Calculates the Blast Effects on Structures and Personnel* [online] [cit. 2011-12-12]. Dostupný z WWW: <http://www.suffield.drdc-rddc.gc.ca/Research-recherche/Products-produits/MilEng/RD2006_05/index_eng.html>.
- DREICER, J. 1998. *SEAT: A strategic engagement analysis too*. In 4. IEEE Conference on Artificial Intelligence Applications [online]. San Diego: Los Alamos National Lab. 1988. 5p [cit. 2011-01-29]. Dostupný z WWW: <<http://library.lanl.gov/cgi-bin/getfile?00228694.pdf>>.

- DVOŘÁK, J. 2004. *Expertní systémy* [online]. Učební text VÚT. 2004. 92s [cit. 2011-11-22]. Dostupný z: <<http://www.uai.fme.vutbr.cz/~jdvorak/Opory/ExpertniSystemy.pdf>>
- FETT, W., et al. 1997. *Application of hypermedia and expert system technology to NAVY environmental satellite image analysis*. Bulletin of the American Meteorological Society [online]. 1997. Vol.78. No.9. s1905-1915 [cit. 2012-02-12]. Dostupný z WWW: <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0477%281997%29078%3C1905%3AAOHAES%3E2.0.CO%3B2>>
- FRANKLIN, J., et al. 1988. *Expert system technology for the military: selected samples*. Proceedings of the IEEE. 1988. vol. 76p. 1327–1366. Komerčně dostupný z WWW: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=16329>. ISSN 0018-9219.
- GEBRESLASIE, G. 2009. *A Comparison of Expert Systems And Weighted Overlay Analysis for Military Planning* [online]. Thesis. Addis Ababa: Addis Ababa University, Faculty of Science, School of Graduate Studies, Department of Earth Sciences. 2009. 71p. Advisor Dr. K. V. Suryabhagavan. [cit. 2012-02-18]. Dostupný z WWW:<<http://etd.aau.edu.et/dspace/bitstream/123456789/2932/1/Gebreslasie%20G.pdf>>
- GOSMAN, S., et al. 1990. *Umělá inteligence a expertní systémy*. Praha: Kancelářské stroje, 1990. 168s. ISBN 80-7018-004-8.
- HARDER, R., et al. 1989. *Methodology Investigation of AI Test Officer Support Tool II* [online]. Software and Interoperability Division, US Army Electronic Proving Ground, Fort Huachuca, Arizona, 1989. Final report. [cit. 2011-12-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a221346.pdf>>
- HABIBALLA, H. 2004. *Umělá inteligence* [online]. 2004 [cit. 2011-12-01] Dostupný z: <<http://www.volny.cz/habiballa/publ/umint.pdf>>.

- HARRISON, J. 1996. *An Expert System for the Control of Military Communications Satellites*. In SpaceOps '96: Proceedings of the Fourth International Symposium, Munich, Germany, 16-20 September 1996 [online]. p. 971–975. [cit. 2012-01-28]. Dostupný z WWW: <<http://adsabs.harvard.edu/full/1996ESASP.394..971H>>.
- JIRSÍK, R., et al. 2005. *Expertní systémy v praxi*. AT&P journal PLUS [online]. 2005 [cit. 2009-12-05]. Dostupný z: <http://www.atpjournalsk/atpplus/archiv/2005_7/PDF/plus05_08.pdf>.
- KELLER, B., et al. 1990. *U.S. Army builds an AI diagnostic expert system, by soldiers for soldiers*. Industrial Engineering [online]. 1990. p. 38–41. [cit. 2012-01-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.accessmylibrary.com/article-1G1-9473169/u-s-army-builds.html>>.
- LAFFEY, T., et al. 1984. *LES: (Lockheed Expert System): A Model-Based Expert System for Electronic Maintenance*. Lockheed Missiles and Space Co Inc Palo Alto Ca Palo Alto Research lab. Jun 1984.
- LANDON, E., et al. 1988. *The Combat Emergency Medicine Expert System (CEMES): Project Phase 2 Report*. Army Aeromedical Research Lab Fort Rucker Al. Final report. Aug 1988.
- LAWRENCE, D., et al. 1992. *Field Test of an Expert System for Construction Site Quality Assurance: Expert System for Roof Construction (ESROC)* [online]. US Army Construction Engineering Research Laboratories (USACERL). 1992. 24p. Technical Report FM-93/03 [cit. 2012-01-26]. Dostupný z WWW: <<http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA265227&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf>>.
- LEMELSON, J. 2001. *Friend or foe detection system and method and expert system military action advisory system and method*. IPC: G01S13/78, G01S15/74, G01S5/02, H04B7/185. Digitální kopie patentového spisu dostupná z WWW: <http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument;jsessionid=A9F37E6DEC7B701E6E7DAD1DCFDE6E87.espacenet_levelx_prod_3?FT=D&date=2>.

0010313&DB=EPODOC&locale=en_EP&CC=US&NR=6201495B1&KC=B1&ND=1>. European Patent Office. Patent No.: US6201495(B1). 2001-03-13.

- LOCKHEED MARTIN. 2012. *What do we do. Aerospace and Defence* [online]. c2012 Lockheed Martin Corporation, Bethesda. [cit. 2012-03-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.lockheedmartin.com/us/what-we-do/aerospace-defense.html>>.
- MACHAMER, L. 1992. *An Expert System For Tactical Military Communications* [online]. Final thesis. University of Washington. 1992. 130p [cit. 2012-01-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a247926.pdf>>.
- MADRID, R., et al. 1992. *Artificial Intelligence for Explosive Ordnance Disposal System (AI-EOD)*. In Innovative Applications of Artificial Intelligence Conference, San José, USA, 13-15 Jul 1992 [online]. Technical report. LA-UR-92-104 [cit. 2012-01-20]. Dostupný z WWW: <<http://library.lanl.gov/cgi-bin/getfile?00353008.pdf>>.
- MAŘÍK, R., et al. 1997. *Umělá inteligence 2*. 1. vyd. Praha:Academika 1997. 373s. ISBN 80-200-0504-8.
- PINCOSKI, M. 1996. *Turbine Engine Diagnostics (TED) for Army Tank Applications* [online]. Master's thesis. Pennsylvania State Univ University, Department of Mechanical Engineering. 1996. 61p. Advisor Vigor Yang [cit. 2012-01-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA320337&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf>>.
- PINDUROVÁ, L. 2003. *Vývoj znalostního systému na podporu rozhodování při konzervaci kovů vyvinutém na FPF Slezské univerzity v Opavě* [online]. 2003 [cit. 2012-03-02]. Dostupný z: <<http://axpsu.fpf.slu.cz/~sim20uh/technologie/emedi/clanek1/me.htm>>
- PROVAZNÍK, I., et al. 1999. *Expertní systémy* [online]. VÚT v Brně. 1999 [cit. 2011-12-10]. Dostupný z: <<http://www.dbme.feec.vutbr.cz/homes/provaznik/downloads/esl.pdf>>.

- RYDVAL, S. 2005. *Základy fuzzy logiky* [on-line]. 2005. NaWEBka c1991-2010 [cit. 2012-03-10]. Dostupný z: <<http://www.rydval.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2005061701>>.
- SCHLEGELMILCH, R., et al. 1991. *GTEX: An Expert System for Diagnosing Faults in Satellite Ground Stations*. In Space Communication Technology Conference : Onboard Processing and Switching. 1991. p103–112.
- SHMUEL, B. 2011. *Decision-Support Expert System and Methods for Real-Time Exploitation of Document in Non-English Languages*. IPC: B64C1/00. Digitální kopie patentového spisu dostupná z WWW: <http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?FT=D&date=20111213&DB=EPODOC&locale=en_EP&CC=US&NR=8078551B2&KC=B2&ND=4>. European Patent Office. Patent No.: US8078551(B2). 2011-12-13.
- ŠTÝBNAROVÁ, L. 2002. *Znalostní a expertní systémy* [online]. 2002 [cit. 2011-11-25]. Dostupný z: <http://ui.fpf.slu.cz/diplomky/znalostni_a_expertni_systemy/Welcome.html>
- VELDIC, V. 2002. *Knowledge Based GIS for Site Suitability Assessment*. In 22nd Annual ESRI International User Conference, 8-12 July 2002 [online]. C1995–2012 ESRI [cit. 2012-02-18]. Dostupný z: <<http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc02/pap1185/p1185.htm>>