

MODULARNA FILOZOFIJA IMPLEMENTACIJE EKSPERTNIH SUSTAVA

MODULAR PHILOSOPHY OF EXPERT SYSTEMS IMPLEMENTATION

K. Antoliš, V. Grbavac, I. Širić

SAŽETAK

U radu se na temelju izučavanja strukturnih formi došlo do konstrukcijskog formalnog modela strukturne filozofije funkcioniranja ekspertnog sustava višedimenzionalne građe. Razmatrani su posebice načini prosudbe kakvoće te učinkovitosti ekspertnih sustava. Uvažavajući temeljne značajke strukture ekspertnog sustava oblikovan je i metodologijski implementacijski pristup koji osigurava uspješnost u konačnici, no svakako uz dužno uvažavanje temeljnih postavki. Te postavke očituju se posebice kroz uobličavanje načina predstavljanja znanja u ekspertnih sustava, te načina realizacije modularne integracije podstrukturnih elemenata u funkciji postizanja cilja. Uočavajući dosada postignuto, te ekstrapolirajući postojeću situaciju, radom se predlažu i smjernice daljnjeg razvoja uporabe ekspertnih sustava, te se pokušava istaknuti problem koji je moguće spriječiti primjerenim metodologijskim pristupima, te sustavnom i cilju vođenom izobrazbom budućih stručnjaka za razvoj i implementaciju ekspertnih sustava.

ABSTRACT

The paper presents, the constructional formal model of structural philosophy in functioning of an expert system of multidimensional structure obtained in studying structural forms. The manner of assessing the quality and efficiency of expert systems have also been studied. Taking into consideration the fundamental characteristics of the expert system structure a methodological implementation approach has also been formed ensuring the final success duly taking into account the fundamental precepts. These precepts are especially

reflected in creating the manner of presentation of the knowledge and expert systems, as well as the manner of implementing the modular integration of substructural elements in the function of achieving the objective. By acknowledging everything achieved so far and extrapolating the existing situation, this paper also proposes the directions for future development in the use of expert systems, and also trying to emphasize the problems of the prevention which is possible by means of adequate methodological approaches, as well as by a systematic and targeted education i.e. training of future experts for the development and implementation of expert systems.

UVOD

Kao uvod može se postaviti pitanje, što je to što povezuje potrebe u jednu cjelinu kad se radi o amateru ili o profesionalcu? U odgovoru valja kazati da je to potreba za nizom specifičnih znanja i to danih u cjelini, brzo, sigurno i povezano. Drugim riječima, želimo da nam u problematičnim kriznim prilikama i kod donošenja teških odluka pomogne dobar stručnjak, vrhunski specijalist ili kako se to drugačije kaže ekspert.

Pogledajmo točnije što je to ekspert?

Ekspert je osoba koja je u stanju:

- primijeniti svoja znanja na rješavanje problema na najpovoljniji način. Pri tome se podrazumijeva uzimanje u obzir svih činjenica i predviđanje svih posljedica,
- objasniti i obrazložiti svoje odluke i prijedloge,
- surađivati s drugim ekspertima i proširivati svoja znanja,
- prestrukturirati i reorganizirati svoja shvaćanja i znanja,
- oblikovati i napuštati određene zaključke i time dokazivati da je pronikao u suštinu određenih pojava i pronašao nove zakonitosti koje među njima vladaju i
- odrediti najbrži način pronalaženja rješenja i njihovih praktičnih primjena, a u posebnim situacijama intuitivno (na osnovi svih dosadašnjih iskustava i događaja) ocijeniti gdje se nalazi rješenje problema (heuristički).

Ali, imati uza sebe eksperta nije ni najmanje jednostavno: eksperata nema previše, nisu na raspolaganju u svakom trenutku i nisu jeftini ni u kom pogledu. Pomiriti se sa situacijom i s činjenicom da nitko nije u stanju znati baš sve? Dovoljno je korektno obavljati posao i ne očekivati previše, a najmanje uvijek prisutnog i prijateljski raspoloženog eksperta uza sebe? Je li

baš tako? Na sreću, nije. Današnji stupanj razvoja moderne informatičke tehnike sve više omogućuje stalno raspolaganje ekspertnim uslugama. Pri tome se ne misli na sasvim određeno područje u okvirima postupaka i primjene umjetne inteligencije, već je riječ o ekspertnim sustavima.

O PROBLEMSKIM ASPEKTIMA IMPLEMENTACIJE EKSPERTNIH SUSTAVA

Pod ekspertnim sustavom općenito podrazumijevamo takvu vrstu programske potpore (software) na računalu koja u većoj ili manjoj mjeri zamjenjuje čovjeka-eksperta. Ekspertni sustav bi prema tome morao biti u stanju da na osnovi unesenih podataka i ugrađenih pravila zaključivanja te tako nastale baze znanja, uspješno pomogne korisniku u rješavanju specifične problematike. Pri tome se, kao što je već spomenuto, ekspertni sustav obrađuje kao dio umjetne inteligencije, i koristi sve tehnike primijenjene u tom području znanosti. Stoga treba naglasiti da ekspertni sustav nije jednostavna baza podataka ili neka vrsta automatiziranog priručnika. Na primjer, osim primjene niza podataka i logičnih pravila (recimo, poznati tip zaključaka "ako"- "tada"), ekspertni sustavi se koriste i postignućima iz područja tzv. dijalognih i prirodnih jezičnih sustava, računarske animacije i robotike, načinima objašnjavanja poteškoća i donošenja odluke itd.

Dobivena baza znanja ekspertnog sustava mora postići optimum između niza naizgled potpuno kontradiktornih zahtjeva da bi, barem donekle, zadovoljila korisnika. Broj podataka, činjenica i logičnih odluka mora biti što je moguće veći, a s druge strane, vrijeme dobivanja određenog rješenja ili prijedloga mora biti što je moguće kraće. Ili, potrebno je odabrati najvjerojatnije rješenje, ali predložiti i druge mogućnosti. Treba znati i to, ekspertni sustav nije predviđen za davanje konačnih i neopozivih rješenja već samo kao pomoć u njihovom nalaženju pa se podrazumijeva da mora biti sposoban "učiti" i "prihvaćati" nova znanja - u skladu s razvojem područja u kojem je "specijalist". Ponekad ne postoji mogućnost davanja konkretnog rješenja pa je onda potrebno koristiti statistiku i tzv. heuristiku (intuitivno znanje). Konačno, ne treba zaboraviti i vrlo težak zahtjev što ugodnijeg, bržeg i lakšeg odnosa čovjek-stroj s maksimalnim izbjegavanjem nedoumica ili nejasnih zaključaka (recimo, ekspertni sustav po potrebi mora i "pitati" korisnika za dodatne podatke). Ukratko, ekspertni sustav mora posjedovati, ako ne sve karakteristike i znanja stručnjaka, ono bar dobar dio njih. Ako tako obrađujemo ekspertne sustave, onda možemo predložiti neku vrstu njihove proširene definicije.

Ekspertni sustavi su klasa računalnih programa koji su u stanju učiti, podučavati, dijagnosticirati, kategorizirati, komunicirati, objašnjavati, istraži-

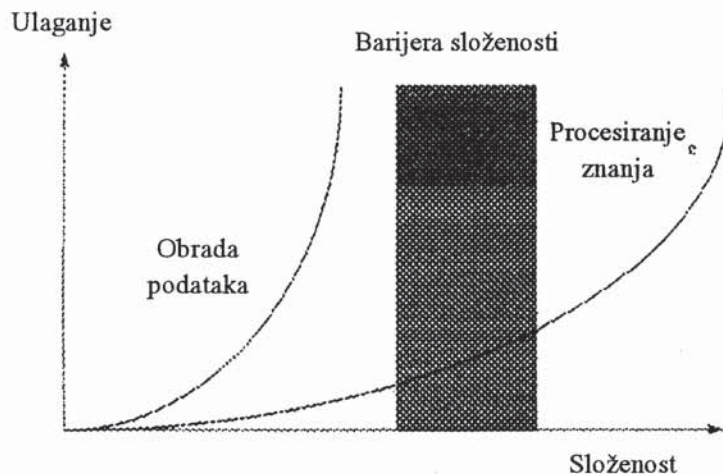
vati, procjenjivati, ocjenjivati, planirati, programirati, savjetovati i interpretirati u određenom srazmjerno uskom području ljudske djelatnosti.

Kao što se vidi, ekspertni sustav je vrlo složen program s nizom vrlo ozbiljnih zahtjeva, ali i takav alat koji je već do sada pokazao da se sav trud uloženi u njegov razvoj višestruko vraća. Na ekspertnim sustavima danas rade vodeće svjetske vojne, industrijske i tehnološke sile uz sudjelovanje vrhunskih specijalističkih timova i ogromna ulaganja (posebno ministarstvo u Japanu, Znanstveni savjet (AN) u Rusiji, čitave posebne institucije u velikim kompanijama i sveučilištima u SAD-u itd). Posebice je važno istaći potpunu nemoć klasičnih metoda rješavanja problema uz pomoć uobičajene obrade podataka, kad problematika prijeđe određenu razinu složenosti. Ta se razina složenosti obično naziva barijerom složenosti. Bez obzira na sve napore i uložena sredstva, ni teorijski pa niti praktično nije moguće probiti barijeru složenosti bez primjene tehnika umjetne inteligencije, u prvom redu - bez primjene specifičnog ekspertnog sustava.

Ekspertni sustav premošćuje barijeru složenosti zahvaljujući:

- elastičnosti ugrađenih pravila,
- zaokruženim cjelinama (rutinama) koje razbijaju problem na manje dijelove,
- bazi znanja i
- brzini odbacivanja varijanti koje ne zadovoljavaju.

Slika 1. Strukturni problem premošćivanja barijere složenosti



Na slici 1 je pokazano kako procesiranje znanja (za razliku od procesiranja podataka), probija barijeru složenosti. Pojavu ekspertnih sustava u današnjem smislu omogućila je dramatična poslijeratna ekspanzija računala na osnovi još bržeg razvoja elektronike a naročito, mikroelektronike. Računala su već prošla kroz četiri generacije i ogromni se napori ulažu u daljnji razvoj pete generacije.

Niz svjetskih stručnjaka je predviđao da će peta generacija predstavljati za civilizaciju jednako važan pronalazak kao i izum vatre ili kotača. Osnovna zadaća računala je obrada podataka, a kakvoća i brzina njene obrade ovisi o njegovoj konstrukciji (arhitekturi), primijenjenoj tehnologiji i načinu rada. Još prije petnaestak godina rad na ekspertnom sustavu bio je moguć isključivo na računalima čija je vrijednost iznosila nekoliko stotina tisuća dolara. Danas su određeni oblici ekspertnih sustava već dostupni i na jačim kućnim stolnim računalima. Usporedno s razvojem računala u smislu njegove materijalne osnove ili hardvera (hardware), razvijala se i programska potpora (software) do te mjere da je danas u stanju dati potporu pri instalaciji vrlo složenih ekspertnih sustava.

METODOLOŠKI I STRUKTURNI ASPEKTI IZGRADNJE EKSPERTNIH SUSTAVA

Sagledavajući inicijalno domicilna implementacijska područja ekspertnih sustava, a uvažavajući do sada aplicirane metodičke pristupe, te strukturalnu aspektiranost orijentiranu ka medicinskoj problematici, u okvirima sljedećih točaka rada pristupilo se izradbi modularne filozofije implementacije ekspertnih sustava nad integralnim informacijskim sustavom koji je temeljno simboliziran pomoću jezgre sustava sa slike 2.

Tehnike prosudbe kakvoće ekspertnih sustava

Za primjer testiranja ocjene kakvoće ekspertnog sustava često se u svjetskoj literaturi uzimaju ispitivanja načinjena na programskom rješenju MYCIN i to ne slučajno, naime, to je jedan od rijetkih sustava koji godinama živi u praksi i na kome su provedena ozbiljna ispitivanja.

Pri tome se išlo u dva pravca:

- (1.) usporedbom rješenja sustava s rješenjima liječnika specijalista, eksperata iz područja infekcijskih bolesti i
- (2.) usporedbom rješenja različitih skupina liječnika specijalista među kojima je i rješenje MYCIN-a.

Rezultati su zaprepastili i one koji su anketu provodili, a zatim i ocjenjivače i ispitanike: MYCIN, predviđen kao pomoćno sredstvo u radu specijalista, pokazao se kakvoćnijim i pouzdanijim (bar u ovom testiranju) od samog specijalista. I pri tome se uočilo da se liječnici opće prakse, a pogotovo studenti, ne mogu nikako uspoređivati s ovim ekspertnim sustavom, jer je bitno bolji od njih. Ovdje se nikako ne želi reći da program u bilo kojem slučaju može ili treba zamijeniti čovjeka, već samo da programi postaju

nezamjenjiv alat kao što je liječniku stetoskop, obučaru šilo ili glazbeniku glazbalo, recimo glasovir. Kasnija slična ispitivanja na ekspertnim sustavima dala su iste ili čak i bolje rezultate. Stoga se postavlja pitanje: što je to što ekspertnom sustavu daje ovakve nadmoćne značajke, kako nastaje i od čega se sastoji, odnosno kakva mu je struktura?

Strukturni aspekti implementacije ekspertnih sustava

Ekspertni sustav, kao i svaki proizvod, ima svoju strukovnu osnovu, razvojni put od ideje do proizvoda i ekipe stručnjaka koje ga stvaraju.

U praksi, ekspertni sustav razvijaju čitavi timovi stručnjaka koristeći se znanjima iz raznih područja znanosti i tehnike. Mi ćemo za naše promatranje, uzeti teorijski minimum stručnjaka koji su u stanju sastaviti ekspertni sustav. Taj minimum se sastoji od uskog specijalista iz područja kojem je namijenjen ekspertni sustav (eksperta) i specijalista za organizaciju i realizaciju ekspertnog sustava (koji u sebi sjedinjuje organizatora baze znanja i sustav inženjera za softver i programera) koga ćemo uvjetno nazvati tehnologom znanja (ili, kraće, tehnologom). Ekspertni sustav ima smisla samo ako se može praktično primijeniti, odnosno rabiti, te je stoga osnovna shema razvoja nezamisliva bez korisnika. Zato je potrebno, u svim fazama provesti određena testiranja i uz pomoć korisnika.

Softver za ekspertni sustav je vrlo složen programski paket koji se sastoji od niza manjih programskih cjelina ili modula.

Osnovna dva sastavna dijela su:

- vezni modul ili sučelje i
- jezgra ekspertnog sustava.

Jezgra ekspertnog sustava se ovdje podrazumijeva u širem smislu, a sastoji se od baze znanja i relacijskog modula ili modula za objašnjavanje.

Vezni modul spaja eksperta i tehnologa znanja po jednoj crti, a korisnika po drugoj crti s bazom znanja i relacijskim modulom.

Stoga se vezni modul sastoji od dva manja modula (kanala veze).

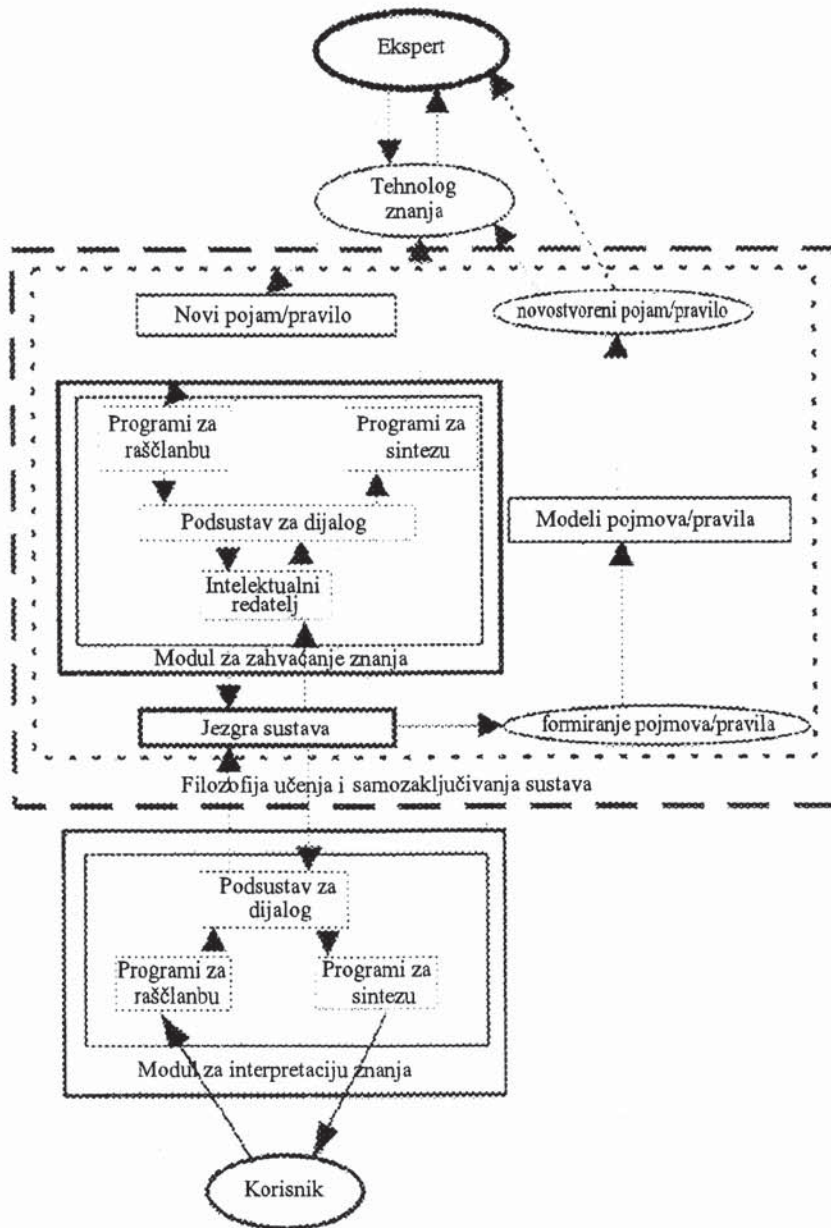
- modula za zahvaćanje znanja i
- modula za objašnjavanje znanja.

Nakon što se svi ovi moduli povežu u jednu cjelinu, dobije se osnovna shema strukture programa ekspertnog sustava. Kada je postavljena cjelokupna struktura ekspertnog sustava, onda ni ekspert, ni tehnolog, a niti korisnik ne pristupaju izravno njegovoj jezgri. Ekspertni sustav tada komunicira s okolnim svijetom isključivo preko veznog modula i to tako da je za kontakte s

ekspertom i tehnologom zadužen njegov prvi modul (za zahvaćanje znanja), dok vezu s korisnikom realizira njegov drugi modul (za interpretaciju znanja).

Znanja koja sustav pribavi preko modula za zahvaćanje raspoređuju se i sređuju u bazi znanja i relacijskom modulu (mehanizmu za zaključivanje). Tek nakon toga je jezgra ekspertnog sustava IIS-a spremna pružiti usluge korisniku preko interpretacijskog modula, tj. modula za objašnjavanje znanja. Čitava ova struktura dana je na slici 2.

Slika 2. Filozofija rada ekspertnog sustava



U širem smislu (a takva interpretacija se može naći i u literaturi), pod bazom znanja često se podrazumijeva jezgra ekspertnog sustava IIS-a, a u bazu znanja se uključuje i relacijski modul (ili mehanizam zaključivanja).

Kakvoćno razumijevanje ekspertnog sustava očigledno podrazumijeva dobro upoznavanje s njegovom jezgrom. Stoga, pogledajmo na kojem načelu radi baza znanja i kako funkcioniraju mehanizmi zaključivanja.

Danas su već široko rasprostranjeni izrazi “baza podataka” i “obrada podataka”. Prvi termin podrazumijeva takav skup podataka koji su spremljeni u određeni memorijski medij (obično vanjska memorija računala) po određenom sustavu i ključu i u obliku srodnih skupina. Način uređenja takvog skupa podataka, a još više algoritmi uz pomoć kojih se svi ti podaci obrađuju (sortiranje, pretraživanje, spremanje, brisanje itd), definiraju i tip baze (hijerarhijska, relacijska itd.) ali i tip obrade podataka. Međutim, zajedno s pojavom umjetne inteligencije, i poebno, razvojem ekspertnih sustava, javljaju se (kao svojevrsan razvoj baze podataka i obrade podataka) pojmovi “baza znanja” i “procesiranje znanja”.

Mogli bismo reći da postoji simetrija (odnosno paralelizam) između baze podataka i obrade podataka te baze znanja i procesiranja znanja.

To ne znači da baza znanja (u užem smislu) nije također neka vrsta baze podataka, a mehanizmi pretraživanja određeni oblik algoritamske obrade. Na temelju rečenoga možemo pokušati predložiti neku vrstu definicije: ako su podaci uneseni tako da pripadaju jednom ili više skupova objekata i ako među njima postoje ugrađeni (pridruženi) odnosi, što omogućuje primjenu mehanizama zaključivanja, onda su stvorene sve pretpostavke za procesiranje znanja i njegovo predstavljanje, što čini jezgru (ili bazu znanja u širem smislu) ekspertnog sustava. Ali, ako govorimo o alatu, onda se odmah postavlja pitanje kakvi su to i koji su to alati koji se danas rabe da bi se izgradila jedna baza znanja? Ili, na koji način se predstavlja znanje?

Metode oblikovanja i predstavljanja znanja

Problem procesiranja znanja i njegova predstavljanja su osnova na kojoj se zasniva potpuna teorija umjetne inteligencije, pa tako i teorija izgradnje ekspertnih sustava. Ova problematika je posebno istraživana sredinom sedamdesetih godina, tako da se do danas razvio niz metoda i programskih alata gdje se sve temelji na matematičkim disciplinama: statistici i teoriji vjerojatnosti, matricama i teoriji grafova, običnoj višedimenzionalnoj i tzv. nepreciziranoj (fuzzy) logici, predikatnom računu itd.

Tijekom vremena su se izdvojile čak četiri metode koje danas dominiraju u izgradnji jezgre ekspertnih sustava, odnosno u oblikovanju procesiranja znanja i njegovog predstavljanja.

To su:

- produkcijska pravila,
- semantičke mreže,
- okviri (frames) i
- predikatni račun.

Iako ove metode imaju niz spojnih točaka i određena preklapanja, one predstavljaju zaokružene cjeline. Ukratko, one uključuju sljedeće.

Produkcijska pravila: Ona se temelje na najstarijem obliku tzv. predikatne ili obične logike oblika “AKO... TADA” (“IF... THEN”).

Primjer:

Na polaganje pismenog dijela vozačkog ispita u zakazano vrijeme nije pristupilo više od polovice prijavljenih osoba:

ako:

- (1) u gradu nema zastoja u prometu
- (2) zakazani termin je preuranjen
- (3) ovaj dio ispita preduvjet je za praktični dio (tj. ispit spretnosti vožnje automobila)

tada:

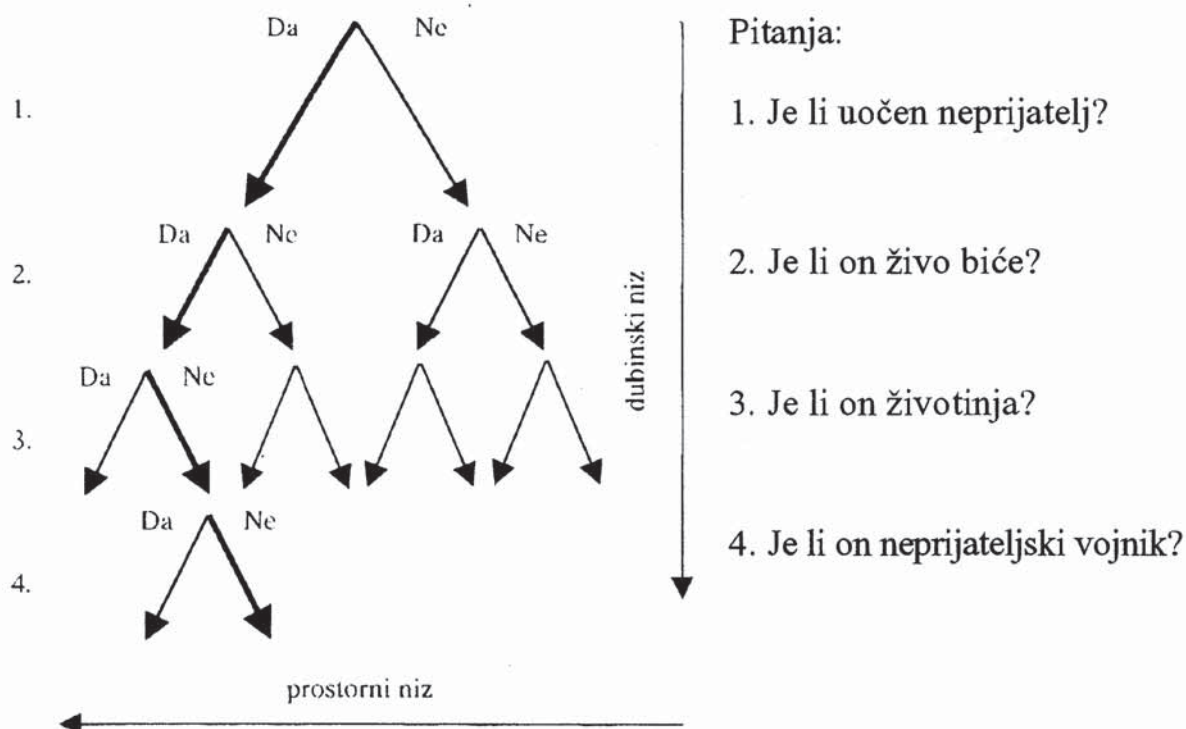
- (1) polaznici se osjećaju nespremni za ispit
- (2) misle da će se za drugi termin bolje pripremiti
- (3) drugi put će biti bolje sreće.

Ovakvo zaključivanje ne mora nužno biti bez pogreške, jer primjerice zbog pojave gripe polaznici nisu mogli pristupiti ispitu, što povlači nužnost da ovakav način zaključivanja mora kombinirati i “težinsku vrijednost” uz pojedine pretpostavke koje zajedno daju zatvoreni skup odgovornih mogućnosti. Primjerice svaki “ako” i svaki “tada” u tom se slučaju opterećuje faktorom u rasponu od 0 do 1, tj. elementom pokrivača cjelokupnog skupa težišnih faktora

$$\left\{ f_i \in [0,1]: \sum_{i=1}^n f_i = 1, i, n \in N \right\}$$

Znanje eksperta i njegova definitivna preporuka određuju veličinu, oblik i finoću težinskog faktora. Daljnja implementacija u konkretnu bazu znanja predmet je projektanta baze znanja i ostavlja se njemu u zadaću.

Semantičke mreže: One su grafička predstavljanja znanja na osnovi prikaza objekata i njihovih međusobnih odnosa. Primjer: semantičke mreže obrađuju se na takav način da ih kompjutor može prihvatiti (često simbolikom koja je predstavljena grafom).



Ovako prikazan graf u kojem se dedukcijom dolazi do spoznaje o ljudskom neprijatelju i koji posjeduje samo dvije vrste odgovora prikazuje se binarnim grafom, tj. binarnim stablom, u literaturi se ovakva struktura često spominje kao hijerarhijska struktura u funkciji spoznaje cilja.

Okviri: Oni su kompletne i zaokružene logičke strukture koje vežu jedinstvo vremena, radnje i objekata (slično scenskim prikazima recimo, dnevne sobe, ulice, škole itd.).

Primjer:

Zadaća:

Tema:	Učinkovitost
Nositelj:	Ivan Ivić
Vrijeme realizacije:	15.11.1998.
Cilj:	Povećanje učinkovitosti za 20%

↑
atribut

↑
vrijednost atributa

Ono što je bitno za istaći jest da okviri mogu biti jednakog oblika ali različitog atributnog sadržaja ali i različitog oblika istog atributnog sadržaja. Također je bitno istaći da su pojedini atributi vezani između dvaju ili više okvira, što omogućuje da se više okvira veže u jednu cjelinu, te da se nad njima potom mogu definirati i izvoditi logičke operacije.

Predikatni račun: On je takav oblik logičke dedukcije ili zaključivanja gdje se, posebno u spornim situacijama, traži konačno rješenje tipa “DA” ili “NE”, odnosno “ISTINA” ili “NEISTINA” (“TRUE” or “FALSE”).

Primjer:

Kod ove metode najbolje je usporedno pratiti slijed logičkih zaključaka u prirodnom jeziku i predikatnom računu, stoga je u primjeru potrebno pojednostavniti raščlambu skupova na po dva podatka (činjenice) i vrsti relacija između njih u oblik relacija (objekt 1, objekt 2). Opći cilj kompletnog mehanizma zaključivanja je postizanje rezultata koji je istina ili neistina.

Uvezivanje relacija imalo je za posljedicu stvaranje zaključka, tj. Franjka i Ivana su sestre, koji nije bio eksplicite unešen u sustav, već je rezultirao, iz implikacije. Posebice bi bilo važno istaći da se u prvom trenutku krenulo od pojedinih konkretnih slučajeva, a u sljedećem se koraku pristupilo poopćavanju, tj. uvođenju apstraktnih objekata. Uvažavajući ovakav pristup zasigurno je moguće doći do određenog zaključka koji je točan toliko koliko su točni pojedini fazni rezultati.

Prirodni jezik	Predikatni račun
1.) Josip i Ivana su brat i sestra	b/s (Josip, Ivana) relacija "brat/sestra" (skraćeno "b/s") postoji između objekata Josip i Ivana
2.) Josip i Franjka su brat i sestra	b/s (Josip, Franjka) relacija "b/s" postoji između objekata Josip i Franjka
3.) Ako su dvoje djece b/s (X, Y) i ako je treće (Z) dijete brat ili sestra jednom od prethodne djece primjerice b/s (Y, Z) tada su i djeca X i Z u relaciji b/s	b/s (X, Y) & b/s (Y, Z) → b/s (X, Z) relacija b/s između osoba X i Y i relacija b/s između osoba Y i Z povlači relaciju b/s između X i Z

Shemom dijelova produkcijskih pravila definira se arhitektura produkcijskog sustava, gdje su dani svi istraživani objekti i produkcijska pravila u užem smislu (AKO ... TADA...) koja ih vežu.

Važno je uočiti da je osnovna sastavnica u metodi produkcijskih pravila - mehanizam zaključivanja. Njegova kakvoća ovisi o dobro odabranim pitanjima, dobro odabranim odgovorima i, što je najvažnije, njihovom pravilnom ocjenjivanju. Takav način je vrlo omiljen u svim područjima umjetne inteligencije, a vrlo često je primjenjivan i pri razradi niza intelektualnih igara (recimo, u šahu se pitamo "što ako" i "koliko to košta").

Kao što je već spomenuto, semantičke mreže su oblik baze znanja u kojima se objekti i relacije među njima prikazuju grafički. Treba dodati da se uvijek, nakon razrade, ovakva mreža obrađuje na takav način da je računalo može prihvatiti (znači, simbolikom koja predstavlja graf). Ovakva metoda dolaženja do rješenja, gdje se ide od općih (zajedničkih) pojmova ka posebnim (pojedinačnim) poznata je odavno (još od starih Grka) u logici kao dedukcija. Pri tome se sustavom odbacivanja i spuštanjem i/ili pretraživanjem po razinama dolazi do rješenja. Dedukcija ima svoju nadopunu, svoj komplement: indukciju. Pri indukcijskom pretraživanju sve je obrnuto, ide se od određenih pojmova k općem zaključku. Stablo je orijentirano u suprotnom smjeru i putuje se odozdo prema gore.

I dedukcijska i indukcijska shema (a ponekad i njihova kombinacija predočena u grafičkom obliku), predstavljaju semantičku mrežu, odnosno poseban mehanizam zaključivanja ekspertnog sustava. Za prezentaciju semantičke mreže u oblik razumljiv kompjutoru, danas je razvijen niz vrlo uspješnih programskih alata.

Svojevrsan razvoj semantičkih mreža doveo je do nastanka posebne logičke strukture okvira. Okvire je još 1974. godine predložio Marvin Minsky: "Okvir je struktura podataka za reprezentaciju stereotipnih situacija kao što može biti neka vrsta dnevne sobe ili odlazak na proslavu dječjeg rođendana.

Svaki okvir sačinjava nekoliko tipova informacija. Neke od tih informacija pokazuju kako se okvir koristi. Neke od njih govore što se treba dogoditi. Neke su o tome što činiti ako očekivanja nisu zadovoljena. Okviri vežu i grafički oblik prikaza i (istodobno) nekoliko logičkih razina u jednu cjelinu. Podaci su u okviru smješteni (uvjetno govoreći) u neku vrstu pretinca (slot) pri čemu sadržaj pretinca ima uvijek isti tip informacije. Već i sama struktura okvira predstavlja, na svoj način, vrlo uspješan mehanizam zaključivanja, osobito u području odabira.

Predikatni je račun u suštini formalan logički jezik s vlastitom sintaksom (strukturuom izraza) i gramatikom koji omogućuje uvođenje relacija među objektima i primjenu mehanizma zaključivanja pri procesiranju znanja. Predikat (u našoj gramatici poznat kao prirok) je dio izraza koji govori o subjektu (podmetu). Ovdje se radi (slijedeći osnovna pravila govornog ili prirodnog jezika) o logičkoj funkciji koja određuje odnos elemenata prema skupu. Predikatni račun je i osnova programskog jezika PROLOG koji je ponajprije i namijenjen području umjetne inteligencije i ekspertnih sustava. Time je rečeno da postoji važna neposredna veza i očigledan lanac: prirodni jezik - predikatni račun - PROLOG.

IMPLEMENTACIJA EKSPERTNIH SUSTAVA MODULARNOM INTEGRACIJOM.

Kao što je već rečeno, pristup do jezgre u izgrađenom ekspertnom sustavu je moguć isključivo preko veznog modula. Vezni modul je cjelina od dva svojevrsna komunikacijska kanala: modula za zahvaćanje znanja (kojeg rabe ekspert i tehnolog) i modula za interpretaciju znanja (predviđenog za korisnika). Pogledajmo, u osnovnim crtama, kako je građen modul za korisnika.

Modul za interpretaciju znanja se sastoji od sljedećih dijelova: programa za raščlambu priopćenja sustavu (od korisnika), podsustava za dijalog i programa za sintezu priopćenja sustava korisniku. Program za raščlambu priopćenja je zadužen za prvi prijam poruke od korisnika. Tada se provodi sintaksna, semantička i morfološkijska raščlamba (odnosno, raščlamba poštivanja pravila jezika, raščlamba logičkog oblika poruke i raščlamba oblika poruke). Ovdje se radi o tzv. početnom odabiru poruke. U podsustavu za dijalog prvo se izdvajaju tzv. ključne riječi (uz pomoć rječnika objekata i rječnika relacija) i pripravi oblik prikladan za predmetno područje. Ovako obrađena informacija se predaje jezgri ekspertnog sustava koja je sada obrađuje po danim pravilima (postavlja dodatna pitanja, traži najpovoljnija rješenja ili daje objašnjenja). Rezultat procesiranja znanja se predaje programu za sintezu priopćenja korisniku (obrada prema sintaktičkim, semantičkim i morfološkijskim pravilima). Postupak rada korisnika sa sustavom je sada jasan: njegova pitanja predstavljaju pobudu koja

aktivira cjelokupni kasniji proces. A to podrazumijeva da je čitav ekspertni sustav spreman za rad, da su već uneseni i kompletna baza znanja i svi mehanizmi zaključivanja. Ova jednostavna pretpostavka je jedan od rubnih kamenova cjelokupne teorije i primjene, ekspertnih sustava. Što se inače najskuplje u modernom svijetu? Što je najduže i najteže stječe i najviše cijeni? Odgovor je jednoznačan i jasan. ZNANJE! Uostalom, čovjek znanje počinje stjecati rođenjem i uči sve do smrti. Kako onda naučiti stroj da bude savjetnik i pomoćnik u poslovima gdje se traži vrhunsko, ekspertno znanje? Kako popuniti bazu znanja i kako pravilno definirati relacijski modul, odnosno, kako "naučiti" određeni ekspertni sustav? Očigledno, mora se razmotriti kanal kojim ekspert i tehnolog komuniciraju s jezgrom ekspertnog sustava programom kojim se jezgra puni, odnosno s modulom za zahvaćanje znanja. Modul za zahvaćanje znanja. Znanje se može promatrati na niz različitih načina po područjima znanosti i tehnike, sa stajališta logike i heuristike, s teorijskoga i praktičnoga stajališta itd. U slučaju ekspertnih sustava, klasifikacija izgleda nešto drugačije i ishod je rada na čitavom nizu projekata. U prvom stupnju nastanka ekspertnih sustava sve je obavljao programer. Pri tome se izrađivala neka vrsta automatiziranog rječnika termina ili spretnog priručnika. Sva je znanja programer sakupljao uz pomoć literature (priručnika, enciklopedija itd.). Međutim, odmah se pokazalo da nedovoljno poznavanje problematike ne daje zadovoljavajuće učinke. Stoga se morala potražiti pomoć eksperta i dobila se neka vrsta odnosa: EKSPERT > PROGRAMER (tehnolog znanja) > SUSTAV. Ovdje još nije bilo zaključivanja, još uvijek je sustav bio samo vrsta baze za čuvanje podataka. Stoga je ekspertovo znanje bilo prihvaćano bez primjene algoritama koji bi ga logički podržavali. Najviši stupanj postignut u ovoj fazi razvoja bilo je uvođenje test primjera koji je objašnjavao cijelu vrstu problema. Poteškoće koje su se tada javljale pokazale su da zahvaćanje znanja nije nimalo jednostavno. Sljedeća generacija ekspertnih sustava počela je s razvojem test primjera u tzv. učenje po analogiji gdje bi se nekom vrstom indukcije moglo doći do sasvim novih rješenja. Dokazivao bi se primjer ili negirao, ovdje nije bilo toliko važno dobivanje cjelovitog sustava. Uspjesi nisu bili veliki ali su jasno pokazali da je proces pribavljanja znanja vrlo složen i da se može razbiti u nekoliko jasno izdvojenih postupaka. Ti postupci su postali neka vrsta algoritma za sve koji su kasnije izgrađivali bilo koji ekspertni sustav, odnosno za sve zadaće koje su se morale uvijek obavljati.

Pobrojimo, u osnovnim crtama, te zadaće bitne za zahvaćanje znanja:

- (1.) definiranje neophodnosti proširenja i prilagođavanja znanja,
- (2.) dobivanje potpuno novih znanja u sustavu,
- (3.) preoblikovanje novih znanja u oblik koji sustav poznaje i
- (4.) usklađivanje modula za interpretaciju koji to omogućuje.

Nastanak modula za interpretaciju i automatizacija zahvaćanja znanja (koji se često naziva i automatsko učenje) je treća razina u razvoju i mnogi je smatraju jedinim prvim početkom teorije i implementacije ekspertnih sustava. To se mišljenje temelji na mogućnosti ekspertnog sustava da samostalno (automatski) dolazi do potpuno novih zaključaka. Jasno je da i modul za interpretaciju znanja mora imati programe za raščlambu i sintezu priopćenja od jednog eksperta (i koji se ovdje obično mogu nazvati mehanizmima uvoda informacije) - da bi se dobio oblik prikladan za logičku obradu i kasniju predaju novih znanja i pravila jezgri ekspertnog sustava. Međutim, ovdje je od bitnog značenja program koji možemo (uvjetno) nazvati intelektualni redatelj. Njegova je dužnost prihvatiti strukturu svih oblika znanja i stalno uspoređivati nova znanja (eksperta) i stara znanja (iz jezgre ekspertnog sustava). Način na koji bi intelektualni redatelj morao obavljati ovu funkciju, određuje i sam tip automatskog zahvaćanja znanja, odnosno učenja:

- induktivno (ili posebna vrsta analognog),
- jezično konceptijsko,
- eliminacijsko (uz pomoć stabla grananja),
- zvjezdasto,
- uz pomoć uzoraka itd.

Svaka od ovih metoda ima svoje prednosti i nedostatke pa se mogu naći i kombinacije, a neki autori još uvijek (u određenim situacijama) daju prednost ručnom unosu podataka u bazu znanja, a ne unosa temeljenog na podacima koji su rezultat neke od spomenutih metoda učenja. Koliko su nove metode automatskog zahvaćanja znanja moćne, mogu nam ilustrirati sljedeći primjeri: početkom osamdesetih razvijen je ekspertni sustav AM (Automatic mathematician) koji je, na osnovi baznih pravila teorije skupova, koristeći indukcijsku metodu (kao najteži oblik učenja), sam došao do pojmova kao što su broj, zbrajanje, množenje, potenciranje, jednostavan broj itd. Jezičko-konceptijska metoda (ili metoda prostora verzija), temeljena na traženju koncepata iz podskupa svih mogućih opisa, dala je nov oblik pravila za generiranje molekularnih struktura u ekspertnom sustavu META DENDRAL. Stablo grananja (već prethodno opisano kao dedukcijsko, odnosno indukcijsko stablo pretraživanja), najjednostavniji je oblik intelektualnog redatelja ali se pokazalo kao najbolje za potrebe odabira. Zvjezdasta metoda je primijenjena na nizu ekspertnih sustava, a koliko je ta metoda uspješna, moglo se vidjeti u sustavu za dijagnosticiranje bolesti soje koji je dao bolje rezultate od ručno dobivene baze znanja. Sustav koji radi uz pomoć uzoraka (tzv. konceptijsko grupiranje) nastao je na temelju klasičnog načina uzorkovanja (ekspertni sustav SODATA) i predstavlja bitno kakvoćniji način rada jer uz svaki zaključak

(rješenje) daje i logičke opise rješenja. Zajedničko za sve oblike i tipove zahvaćanja znanja jest tzv. opća shema ili mehanizam učenja i samostalnog zaključivanja. Prema toj shemi upravo i radi intelektualni redatelj. Radi li se o induktivnom, jezično koncepcijskom i/ili nekom drugom obliku zahvaćanja znanja, odlučuju modeli pojmova i/ili pravila. Očigledno, radi se o sustavu s povratnom vezom gdje se novooblikovani pojam i/ili pravilo ukomponiraju samo ako su prošli dodatni test iz mehanizma zaključivanja i eksperta osobno. Jedna je od važnih osobina toga načina učenja i stalni dijalog s ekspertom (sustav donosi vlastite zaključke i postavlja pitanja svome "učitelju" te pokazuje svoja rješenja). Za ovakav tip konverzacije zadužen je poseban tzv. dijalogni modul. Dijalogni modul (u širem smislu) u sebi obuhvaća raščlambu i sintezu priopćenja, kao i u modulu za interpretaciju znanja. Kod opće sheme modula za zahvaćanje znanja, koji je samo dio slike 2, valja osobito naglasiti da se radi o funkcijskoj shemi. U praksi se rijetko kada moduli nalaze ovako strogo odijeljeni. To znači da se pojedine aktivnosti preklapaju i da mogu biti sastavni dio druge cjeline - recimo jezgre ekspertnog sustava.

OČEKIVANI TRENDOVI RAZVOJA UPORABE EKSPERTNIH SUSTAVA

Ekspertni sustavi se rabe u rasprostranjenom broju aplikacijskih područja i u rastućem broju industrija te posebice u medicini gdje su svojedobno i iznikli. Spekter primjene ekspertnih sustava širi se od vrlo velikih i složenih sustava do vrlo malih i jednostavnih segmenata, usko specijaliziranih. Jedan važan smjer je prema manjim, jednostavnijim ekspertnim sustavima koji izvode ograničene, ali korisne zadaće. Takvi ekspertni sustavi često su razvijeni korištenjem jeftine ljske osobnog računala i obično su razvijeni u srazmjerno kratkom vremenu. Stoga oni zahtijevaju male investicije i moraju vratiti samo umjerenu amortizaciju da bi bili uspješni. Drugo područje u kojem se ekspertni sustavi šire je korištenje gotovih znanja za konstrukcije baze ekspertnog sustava za pohranjivanje i dobivanje znanja, uz malo ili nimalo korištenja mogućnosti zaključivanja ekspertnih sustava. Stoga se u nekim primjenama ekspertni sustavi bave pravilima koja se mogu u nekim slučajevima smatrati posebnim tipom datoteka, koje dopuštaju dobivanje tj. uzimanje znanja spremljenog u njih u obliku pravila. Jedan važan smjer ekspertnih sustava je prema integraciji ili ulaganju u druge kompjutorske sustave. Rastući, ekspertni sustavi bili su razvijeni s namjerom da budu integrirani s bazama podataka konvencijskih računalnih programa i/ili drugim ekspertnim sustavima. Tehnologija ekspertnih sustava korištena je kao pristup u razvoju dijelova većih sustava, radi integracije ekspertnih sustava u veće informacijske sustave. Korisnici ne moraju znati niti brinuti za to da je ekspertni sustav dio sveobuhvatnog sustava koji

koriste tako dugo dok sustav izvodi funkcije koje se od njega zahtijevaju. Još jedno područje ekspertnih sustava koje je kooperativno jest područje ekspertnih sustava razvijenih za specifične discipline koje mogu udružiti svoje individualne tehnike u rješavanju složenosti problema. Isto tako nekoliko ekspertnih sustava što predstavljaju posebne interese, primjerice dijelove medicinske raščlambe bolesti, mogu premostiti rješenje zajedničkog problema tj. dijagnosticanja bolesti. U području strojne potpore ekspertnim sustavima, danas je nazočan brzi razvoj i to je posebice zamjetan razvoj ekspertnih sustava na računalima opće namjene i to čak i veći od razvoja na specijaliziranim UI radnim stanicama. Računala opće namjene svih veličina, od PC-a do velikog računala, koriste se kao strojne osnovice. U svakom slučaju, UI strojevi kao LISP strojevi i dalje će biti vrijedni za razvoj ekspertnih sustava za kompleksnije probleme, iako u mnogim slučajevima rezultirajući ekspertni sustavi mogu biti razvijeni na osnovi računala opće namjene. Možemo također spomenuti LISP strojeve i čipove koji su integrirani u konvencijske PC-je i druga računala, dopuštajući LISP-u da nadoknadi potrebnu snagu unutar standardnije platforme. Jedna struja u softveru ekspertnih sustava je razvijana prema korištenju konvencijskih programskih jezika i to za direktni razvoj ekspertnih sustava (osobito manje kompleksnih ekspertnih sustava) i kao temeljni jezik za razvojne alate ekspertnih sustava. UI istraživanja i razvoj složenih ekspertnih sustava još uvijek općenito zahtijevaju ili su olakšani korištenjem UI jezika kao što su LISP i Prolog. Neki alati omogućuju razvoj ekspertnog sustava u UI-jezično temeljenom alatu i tada konverziju u neki od standardnih programskih jezika. Postojeće znanje inženjerskih softverskih alata i ljuski seli se usporedno na velika računala kao i na PC-je. Ljuske nude više pravaca, više predložaka i bolju povezanost s vanjskim softverom, poput grafičkih paketa i komunikacijskih paketa. Mogućnosti današnjih alata su u porastu, olakšavajući izbor razvoja ekspertnoga sustava na jednoj platformi i razvijanje na ostalim. Kako alati za razvoj ekspertnog sustava postaju lakši za korištenje i razumijevanje, kako specijaliziranih domena specifičnih podataka danih za opće domene ili tipove domene postaju dostupni i kako se pojavljuju automatizirana pomagala za stjecanje znanja, postaje lakše za inženjere znanja s umjerenom ili malom vježbom i iskustvom ili ponekad samim domena ekspertima da razviju manje, jednostavnije sustave. Takvi sustavi mogu biti vrlo korisni. U predvidivoj budućnosti, ekspertni sustavi za poteškoće veće složenosti ili poteškoće koje imaju jedinstvene ili posebne značajke zahtijevat će dobro uvježbane,iskusne inženjere (tehnologe) znanja. Snažnije tehnike su pridodane alatima ekspertnih sustava. Tehnike dubokog rasuđivanja i rasuđivanja temeljenog na modelima omogućuju ekspertnim sustavima korištenje dubljeg razumijevanja strukture i pravog načela domene u rješavanju problema. Rasuđivanje temeljeno na slučaju omogućava korištenje prethodnih

odluka u donekle sličnim okolnostima za vođenje sadašnjih odluka. Učenje tehnika omogućava ekspertnim sustavima poboljšanje u razdoblju korištenja. Svi ti smjerovi morali bi omogućiti rezultirajućim ekspertnim sustavima da osiguraju više mogućnosti i snage korisnicima, te bi morali učiniti razvoj ekspertnih sustava rastuće evidentnim (značajnim i korisnim).

ZAKLJUČAK

Polazeći od temeljnih značajki teorijskih mogućnosti ekspertnih sustava u radu se pristupa definiranju problemskih aspekata implementacije ekspertnih sustava nad konkretnim integralnim informacijskim sustavom. Uvažavajući svjetska postignuća na razrješavanju implementacijskih aspekata u radu se posebice konstruiraju i prezentiraju metodološki i strukturni aspekti i to putem uvođenja novih prosudbenih tehnika kakvoće ekspertnog sustava, a potom i strukturnih aspekata danog problema. Konačni implementacijski oblik strukturne implementacijske modularne filozofije (shematski prikazan slikom 2) primjer je izvedenog definicijskog oblika za realizaciju višekoračne implementacijske zadaće integracije ekspertnog sustava nad zadanim integralnim informacijskim sustavom. Pomoću prezentacijskih metoda implementiranih u filozofiju modularne izgradnje ekspertnog sustava, te njegove integracije s polaznim sustavom ostvarena je prvotna želja postizanja cilja, tj. uspostave ekspertnog sustava za danu problemsku zadaću. Očekivani trendovi razvoja ekspertnog sustava predmetom su ekstrapolacijskih promišljanja autora o budućem razvitku ekspertnih sustava sa stajališta njihove izgradnje i implementacije nad zadanim integralnim informacijskim sustavom.

LITERATURA

- Adeli H., Ed., (1988): Expert system in Construction and Structural Engineering, Chapman and Hall, London, 1988.
- Adeli H., Balasubramanyam K. V. (1988): Expert systems for Structural design, a New Generation, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Čerić, V. (1993/94). Ekspertni sustavi, Ekonomski fakultet, Zagreb.
- Čubriilo, M. (1989): Matematička logika za ekspertne sustave, Informator, Zagreb.
- Fenves, S. (1989): Expert Systems: Expectation versus realities, IABSE, Bergamo, Italy.
- Grbavac V., F. Rotim, K. Antoliš (1996): Ekspertni sustavi u funkciji razvoja prometa, IESP '96. Ljubljana.

Nilsson, N. J. (1980): Principles of Artificial Intelligence, New York, Springer-verlag, NY.

Plenković, M., (1993): Komunikologija masovnih medija, Barbat, Zagreb.

Žagar, Z. (1991): Ekspertni sustavi, Građevinski fakultet Zagreb, Zagreb.

Adresa autora - *Author's address*:

Primljeno: 1. 03. 1997.

Dr. sc. Krunoslav Antoliš
Hrvatsko komunikološko društvo

Prof. dr. sc. Vitomir Grbavac
Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
E-mail: grbavac@magr.agr.hr

Ivan Širić, dipl. ing. agr.,
Agronomski fakultet Sveučilišta u Zagrebu