

# OSNOVNI KONCEPTI IN STRUKTURA EKSPERTNIH SISTEMOV

M. GAMS  
N. LAVRAČ  
I. BRATKO\*

INSTITUT JOŽEF STEFAN, LJUBLJANA

\* FAKULTETA ZA ELEKTROTEHNIKO, LJUBLJANA

UDK: 519.1:681.3

V referatu podajamo pregled področja ekspertnih sistemov, ki so eno najpomembnejših področij umetne inteligence in ki v zadnjih letih doživljajo velik kvalitativen in kvantitativen napredek. Referat opisuje osnovne metodološke koncepte, strukturo, delovanje in značilnosti ekspertnih sistemov. Podaja tudi pregled obstoječih sistemov z oceno njihovega delovanja in uporabnosti.

**BASIC PRINCIPLES AND STRUCTURE OF EXPERT SYSTEMS:** The paper presents a survey of expert systems which are one of the most important fields of artificial intelligence and have been rapidly advanced over the last years. The paper presents basic methodological concepts, structure, performance and characteristics of expert systems. It also presents a survey of existing systems together with the evaluation of their performance and use.

## 1. UVOD

Večina programov umetne inteligence temelji na ideji, da lahko kompleksne probleme rešujemo s heuristično vodenim iskanjem. Heuristično vodeno iskanje se skuša izogniti preiskovanju celotnega problemskega prostora, tako da s posebnimi triki pregleda samo najobetavnejše možnosti. Te metode so prvotno pripeljale do izdelave programov, pri katerih je bil poudarek na učinkovitih, od problemskega področja v glavnem neodvisnih algoritmih za preiskovanje (npr. program GPS - General Problem Solver, Winston, 77). Izkazalo pa se je, da so ti programi prešibki za učinkovito reševanje kompleksnih problemov in da leži moč visoko zmogljivih sistemov v znanju, ki ga ti sistemi vsebujejo. Na podlagi tega spoznanja so raziskave v zadnjih letih pripeljale do razvoja ekspertnih sistemov.

V najširšem smislu pod pojmom ekspertni sistemi razumemo inteligentne računalniške programe, realizirane z različnimi metodami umetne inteligence. Ime "ekspertni sistemi" izhaja iz zahteve, da ti programi delujejo podobno kot človek-strokovnjaki, ki zna na podlagi svojega specialnega znanja pametno sklepati, svetovati in razlagati svoje odločitve.

Kakršenkoli neinteligenten računalniški program ali program brez zmožnosti pojasnjevanja svojih odločitev pa ne spada v kategorijo ekspertnih sistemov.

Ekspertni sistemi so izrazito aplikativno usmerjeni in pogosto sredujemo njihove opise pod poglavjem "aplikacije umetne inteligence". Zaradi izrazite uporabniške usmerjenosti je vse podrejeno želji po čim boljših rezultatih in tako specifičnemu problemskemu prostoru.

V tem članku podajamo grobi pregled področja ekspertnih sistemov. Referat je izdelan na podlagi spoznanj, pridobljenih s prebiranjem svetovne literature o ekspertnih sistemih, in s preteklim in sedanjim delom skupine za umetno inteligenco Instituta Jožef Stefan v Ljubljani.

Dostoj smo se ukvarjali predvsem z raziskavami in implementacijo bazičnih metod umetne inteligence in ekspertnih sistemov. Ob že realiziranih ekspertnih sistemih za igranje šahovskih končnic pa načrtujemo tudi čisto aplikativne ekspertne sisteme.

## 2. OSNOVE DELOVANJA EKSPERTNIH SISTEMOV IN PRODUKCIJSKI SISTEMI

Inteligenca ekspertnih sistemov temelji na velikih bazah znanja, specifičnih za konkretna problemska področja. To znanje je razbito na čim bolj ločene module. Vsak modul vsebuje informacijsko zaključen kos znanja o specifični problemski domeni.

Večina ekspertnih sistemov deluje tako, da sistem pregleduje podatke, da bi ugotovil, kateri moduli ustrezajo dani situaciji v podatkih. Ko sistem najde modul, katerega iskalni vzorec se ujema z vzorcem v podatkih, se izvrši akcija oz. zaporedje akcij tega modula. Sistemi, ki delujejo na opisani način, se imenujejo vzorčno vodeni moduli.

Znanje v ekspertnih sistemih je najpogosteje predstavljeno v obliki pravil (ponavadi eno pravilo ustreza enemu modulu). Pravila imajo običajno obliko

situacija =====> akcija

Situacija določa pogoje (definira vzorec), pod katerimi je treba izvesti akcijo. Akcija je lahko trditev ali pa procedura, ki spremeni podatkovno bazo ali npr. usmeri kontrolne mehanizme sistema na aktiviranje določenega dela znanja.

Ekspertni sistemi pogosto uporabljajo produksijske sisteme; to so sistemi, ki imajo znanje predstavljeno v obliki pravil.

Oglejmo si enostaven primer produkcijskega sistema na modelu termostata za vzdrževanje temperature med 18 in 20 stopinjami Celzija.

temperatura>18 in temperatura<20 ==> miruj.  
 temperatura<10 ==> pokliči\_popravilo  
 vključi\_električno\_gretje.  
 temperatura<18 in stanje\_pedi=ugasnjen  
 ==> prižgi\_ped.  
 temperatura>20 in stanje\_pedi=prižgan  
 ==> ugasni\_ped.

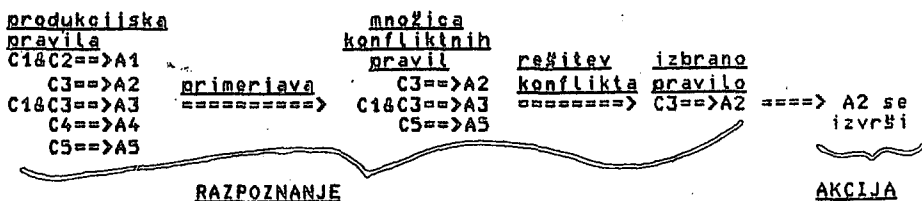
To produkcijski sistem je sestavljen iz štirih pravil. Vsaka leva stran (pogoj) pravila določa vzorec vnaprej izbranih spremenljivk. Sistem poišče pravilo, katerega pogoji so izpolnjeni glede na podatkovno bazo. To pravilo se sproži in izvrši se zaporedje akcij, ki ga definira desna stran pravila.

V tem preprostem primeru termostata smo si ogledali samo vloženo znanje, ne pa tudi njegovo dejansko uporabo. Ta lastnost omogoča "top-down" pristop in učinkovito strukturiranje sistema.

Pravila v produkcijskih sistemih se izvajajo v ciklih "razpoznavaj-ukrepaj" (glej sliko 1.).

Na sliki 1 vidimo, kako se izvrši en cikel "razpoznavaj-ukrepaj" produkcijskih sistemov. Interpretor najprej pregleduje, katera pravila izmed množice produkcijskih pravil ustrezajo danim podatkom iz podatkovne baze. V našem primeru pridejo v poštev tri pravila in ta pravila predstavljajo ti. konfliktno situacijo. Kot rešitev konfliktno situacije se lahko proži več, običajno pa samo eno pravilo iz konfliktno množice.

Podatkovna baza: C5 C1 C3



RAZPOZNAVANJE

AKCIJA

Slika 1: Cikel "razpoznavaj-ukrepaj" produkcijskih sistemov.

Produkcijski sistemi so praviloma seveda mnogo kompleksnejši. Naštajmo le nekaj najbolj pogostih karakteristik:

- (a) Podatki lahko izpolnjujejo pogoje več pravil - ta pravila potem tekmujejo za izvajanje.
- (b) Pravilom lahko pridamo faktorje zanesljivosti, tj. števila na intervalu [-1,1], ki izražajo, v kolikšni meri zaupamo danemu pravilu. (Vzemimo primer neformalno napisanega pravila iz medicinskega ekspertnega sistema MYCIN: "Gramnegativna paličasta bakterija v krvi je zelo verjetno (0.8) E.COLI.")
- (c) Pravila se lahko pri izvajanju vežejo v bolj ali manj komplicirane strukture (verige).
- (d) Veritazenje pravil lahko spremlja metoda za določanje faktorjev zanesljivosti verige iz faktorjev zanesljivosti posameznih pravil.

Produkcijski sistemi so našli dvojce uporabnih področij uporabe (Davis,77): za modeliranje človeškega mišljenja (PSG,PAS2,VIS..) in v ekspertnih sistemih (MYCIN,DENDRAL,MOLGEN...).

Prve uporabe PS za modeliranje človeškega mišljenja so bile raziskave na področju šaha in kriptografskih problemov (Simon in Newell).

Po Newellu in Simonu so PS primerni predvsem zaradi:

- (1) PS so ravno tako splošni kot Turingov stroj in omogočajo gradnje modelov z raznovrstnimi možnostmi procesiranja informacij;

- (2) PS omogočajo enostavno spreminjanje in dodajanje pravil, pri tem lahko pravila dodajamo postopoma;
- (3) grobo gledano, produkcijska pravila funkcionalno ustrezajo modelu človeškega dolgoročnega spomina; dinamični del podatkov v podatkovni bazi pa človekovemu kratkoročnemu spominu.

Zanimiva je ugotovitev, da sistem z dodajanjem novih pravil običajno pridobi na kvalitoti, če pa pravila postopoma izločamo iz sistema, po dobimo model okrajšenega človeškega razmišljanja.

Pri gradnji ekspertnih sistemov so misli usmerjene v čim bolj kvalitetno delovanje sistema na specifičnem problemskem področju, zato so izbrane metode bolj ali manj strogo vezane na izbrano problemsko področje. Kljub temu so PS najobetavnejši in se pojavljajo v večini uspešnih aplikacij ekspertnih sistemov.

Prednosti pri uporabi PS so predvsem:

- (1) enostavno dodajanje in spreminjanje pravil;
- (2) znanje v obliki pravil je našeloma vedno dostopno vsakemu delu programa in s tem raste moč sistema;
- (3) specialni primeri kot npr. hierarhična kontrolna struktura omogočajo prilagoditev PS ustreznemu problemskemu področju;
- (4) PS so najmočnejše orodje za predstavitev znanja na področjih, kjer je znanje zajeto v velikem številu med soboj večinoma relativno neodvisnih pravil;
- (5) PS omogočajo "inteligentno" komunikacijo z uporabnikom, saj omogočajo razlago svojih sklepov, pojasnjevanje posameznih pravil itd. Pri tem imajo nekatera pravila priložen komentar, drugod pa znajo programi sami predstaviti pravila v naravni jezik.

Kljub razlikam vsi omenjeni sistemi spadajo pod pojem "produkcijski sistemi".

Nekateri strokovnjaki kot Newell (72) gledajo na PS ne samo kot na primarno orodje za raziskave človeškega modeliranja, ampak bolj kot na metodologijo, katere moč v veliki meri izvira iz velike podobnosti s človeškim razmišljanjem. Zdi se, da uspešna uporaba PS v ekspertnih sistemih ni samo slučajna, ampak da je strukturiranje znanja v PS učinkovita metoda za uporabo zelo velikih količin znanja. Podobne metode naj bi tekom evolucije razvili in izpopolnili naravni inteligentni sistemi (živa bitja), z odkritjem takih metod pa smo dobili v roke uspešno orodje za izgradnjo kvalitetnih ekspertnih sistemov.

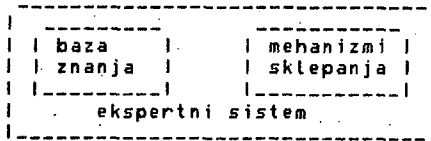
Uspeh nekaterih sistemov umetne inteligence, ki bazirajo na PS, v določeni meri potrjuje zgornja razmišljanja. Prav tako je dejstvo, da je metodologija PS zelo učinkovita. Vendar ni povsem jasno, ali učinkovitost PS res izvira iz podobnosti s človeškim razmišljanjem in ali bi morali biti zaradi tega tudi inteligentni racionalistični programi podobno grajeni.

Izkušnje kažejo, da je moč ljudi predvsem v specializaciji, v izkušnjah in znanju z določenega področja. Tako je malo verjetno, da bi bil šahovski velomajster hkrati vrhunski matematik ali kemik. "Ekspert" je strokovnjak s

specialnim znanjem o svojem področju, s specialnimi metodami in hevristikami. Odtod izvira ime "ekspertni sistemi".

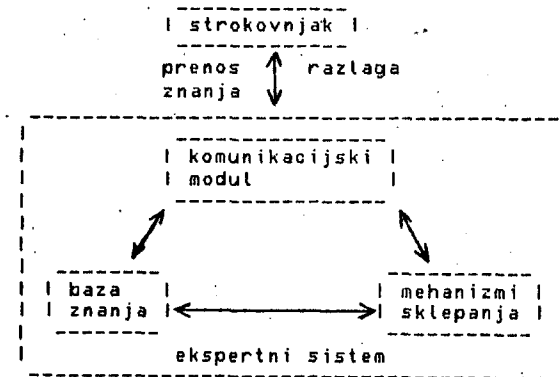
### 3. STRUKTURA IN DELOVANJE EKSPERTNIH SISTEMOV

V splošnem so ekspertni sistemi sestavljeni iz baze znanja o problemskem področju (knowledge base) in ustreznih mehanizmov sklepanja (inference engine). Strukturo ekspertnih sistemov prikazuje slika 2. Baza znanja vsebuje vse informacije o objektih in relacijah med objekti problemskega področja ter navodila, kako oz. kdaj uporabiti posamezne dele znanja. Mehanizmi sklepanja pa so algoritmi za uporabo tega znanja pri reševanju problemov in temeljijo na bolj splošnih in od problemskega področja manj odvisnih mehanizmih.



Slika 2: Osnovna struktura ekspertnih sistemov

Znanje v bazi znanja je predstavljeno tako, da omogočimo uporabniku enostavno vnašanje, spreminjanje in dopolnjevanje znanja; razumevanje ter razlago znanja in izpeljanih sklepov (rezultatov). Pogosto vsebuje vse to znanje poseben komunikacijski modul, ki omogoča uporabniku inteligentno interakcijo s sistemom v skoraj naravnem jeziku. Delovanje takega sistema prikazuje slika 3.



Slika 3: Prikaz delovanja ekspertnih sistemov

V nadaljnji obravnavi se bomo omejili na osnovno strukturo ekspertnih sistemov (glej sliko 2) ter razložili njihove sestavne dele in delovanje.

Ekspertne sisteme sestavljata dva osnovna modula: (a) baza znanja in (b) mehanizmi sklepanja.

(a) Baza znanja o problemski domeni je sestavljena iz (a1) znanja in (a2) podatkov.

(a1) Znanje vsebuje specifično znanje o problemski domeni. Tvorijo ga informacije o objektih domene in o relacijah med temi objekti. Včasih vsebujejo ekspertni sistemi tudi ti. meta-znanje, ki ga tvorijo informacije o uporabi tega specifičnega znanja. Del specifičnega znanja, ki mora biti v danem operacijskem ciklu sistema na voljo v procesu sklepanja, tvori ti. "aktivno znanje", medtem ko je preostali del specifičnega znanja v ti. "spečem" stanju. Specifično znanje je praviloma razbito v množico vzorčno vodenih modulov.

Učinkovitost delovanja ekspertnih sistemov je v veliki meri odvisna od predstavitve tega znanja. Znanje je lahko predstavljeno v obliki modelov, semantičnih mrež, pravil, itd. Izredno zanimiva in učinkovita je predstavitve znanja v obliki pravil, ki ne zahtevajo stroge formalizacije.

Čeprav je z izbiro predstavitve znanja že določena večina iskalnih mehanizmov in ustreznih hevristik, je koristno vključiti v sistem še dodatno znanje, ki še poveča učinkovitost delovanja sistema. To meta-znanje dodatno določa, kako naj se moduli aktivirajo, kako naj se izmed vseh modulov, ki ustrezajo danemu vzorcu podatkov, izbere in izvrši najustrenejši, itd.

(a2) Podatki so ali vhodni podatki ali vmesni rezultati, saj se podatki praviloma spreminjajo v vsakem operacijskem ciklu sistema. Podatki opisujejo tekoče stanje problema, tekoče kontekste, tekoče piane, zastavljene cilje in tekoče hipoteze, ki jih želimo dokazati.

Tudi za predstavitve podatkov imamo cel spekter možnosti: sezname, drevesa, mreže, pravila, itd.

(b) Mehanizmi sklepanja se sestoje iz algoritmov za uporabo znanja pri reševanju problemov. To so različni iskalni mehanizmi (kot npr. alfa/beta iskanje v and/or drevesih, hevristične funkcije za evaluacijo vozlov v iskalnih drevesih) in različni drugi algoritmi, ki so v veliki meri vezani na obliko, v kateri je predstavljeno znanje. To so npr. algoritmi za primerjanje vzorcev v podatkih in modulih, algoritmi za izbiro in aktiviranje modulov, algoritmi za izvrševanje akcij, ipd. Pogosta in uspešna tehnika za reševanje problemov je "generiranje in testiranje", tj. generiranje hipotez, ki jih potem sistem preverja.

### 4. KRATEK PREGLED OBSTOJEČIH EKSPERTNIH SISTEMOV

#### DENDRAL

Z deli na ekspertnem sistemu DENDRAL so začeli leta 1965 v Stanfordu, ZDA (Buchanan, 77). Sistem stalno dopolnjujejo. To je verjetno največji projekt umetne inteligence, ki je tudi prvi dokazal, da je metode umetne inteligence mogoče učinkovito prenesti v prakso.

DENDRALova naloga je, da v interaktivni komunikaciji z uporabnikom (kemikom) ugotovi kemično strukturo neznane snovi. Za neznane snovi je namreč zelo težko ugotoviti njihovo strukturo. DENDRAL uporablja različne vire znanja: znanje o valencah (povezavah atomov), znanje o stabilnih in nestabilnih konfiguracijah atomov, pravila o razpadu snovi v masnem spektrometru, pravila o magnetni resonanci, pravila za planiranje in evaluacijo hipotez o neznani snovi in dodatno uporabnikovo znanje o neznani snovi.

Kemične strukture so predstavljene kot grafi: atomi so vozlišča, vezi med atomi pa povezave med vozlišči. Omejitve so podane kot podgrafi, ki se jim mora program izogibati. Znanje o razpadu snovi v masnem spektrometru je podano v obliki pravil:

<u>situacija:</u>	<u>veri, dogodka</u>	<u>akcija:</u>
določena konfiguracija atomov	=====>	razbijanje določene konfiguracije (razpad povezav podgrafa)
(podgraf)		

DENDRAL deluje v ciklih, sestavljenih iz faz "planiraj in generiraj"- "testiraj". Vsako od teh faz izvaja poseben modul. Modul "generiraj" (CONGEN) je kombinatorični algoritem za generiranje vseh topološko dovoljenih struktur. Modul "planiraj" (PLANNER) omejuje generiranje strukture glede na podane omejitve. Modul "testiraj" (MSPRUNE in MSRANK) nekatere izmed zgeneriranih struktur zavrže, ostale možne strukture

pa razvrsti (oceni) glede na znanje v sistemu. DENDRALova kvaliteta je na ravni najboljših strokovnjakov za snovi, za katere ima vloženo še specialno znanje. Za iskanje strukture brez merjenja z instrumenti pa je DENDRAL (oz. CONGEN) bistveno boljši od človeka. DENDRAL je v ZDA dostopen preko računalniške mreže TYMNET.

#### MYCIN

Tudi MYCIN je plod dolgoletnega dela strokovnjakov, ki se je začelo leta 1972 v Stanfordu (Shortliffe, 76).

MYCINova naloga je, da v interaktivni komunikaciji z uporabnikom (zdravnikom specialistom) postavi diagnozo povzročitelja infekcije krvi in meningitisa in svetuje najboljše terapijo (doziranje zdravil). Komunikacija poteka v omejeni angleščini in s standardnimi ukazi.

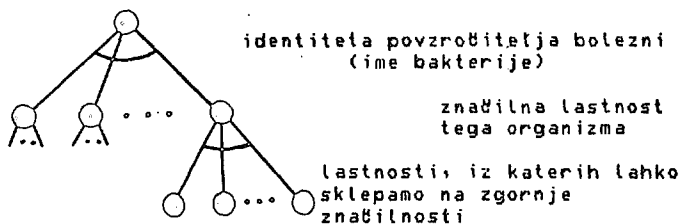
MYCIN vsebuje strokovno zdravniško znanje v obliki produkcijskih pravil kot je npr.

ČE: 1) BARVANJE ORGANIZMA JE GRAMNEGATIVNO, IN  
2) OBLIKA ORGANIZMA JE PALIČASTA, IN  
3) AEROBNOST ORGANIZMA JE AEROBNA  
POTEM: OBSTAJA VELIKA VERJETNOST (0.8) DA SPADA ORGANIZEM V RAZRED ENTEROBACTERIACEAE.

Podatki v podatkovni bazi so četvorke oblike: (lastnost objekt vrednost faktor\_zanesljivosti)  
Primeri:

(IDENTITETA ORGANIZEM-1 E.COLI D.8)

MYCIN deluje po principu "generiraj in testiraj". Sistem išče povzročitelja bolezni tako, da primerja iskani organizem z vsemi znanimi organizmi iz podatkovne baze, pri čemer MYCIN vsakič razvije and/or drevo. Produkcijska pravila se torej v tem postopku vežejo v vzvratni smeri.



MYCIN preiskuje and/or drevo najprej v globino ("depth-first search"), zato za marsikateri organizem že kmalu ugotovi, da ne ustreza, in drevesa ni treba razvijati do konca.

MYCIN na svojem področju dosega in presega najboljše zdravnike-specialiste. Ugotovili so, da zdravniki največkrat predpisujejo antibiotike preširokega spektra in premalo pazijo na negativne medsebojne vplive zdravil, česar MYCIN ne dela. Kljub izredni kvaliteti pa MYCIN ni praktično v rabi, zlasti zato, ker zahteva velik računalnik in ker je težko sprejemljiv tako bolnikom kot zdravnikom.

DENDRAL in MYCIN sta klasični deli s področja ekspertnih sistemov, zato smo ju podrobneje opisali. Navedimo le še nekatere značilnejše primere ekspertnih sistemov.

**META-DENDRAL** je nastal kot del DENDRALa. Sistem skuša odkriti nova pravila o razpadu molekul v masnem spektrometru. Pravila so kreirajo na osnovi primerov spektrov že znanih molekul. Pri kreiranju pravil uporabnik interaktivno sodeluje.

**TEIRESIAS** je nastal pri izpopolnjevanju MYCINa. Sistem skrbi za enostavno dodajanje in spreminjanje pravil, za preverjanje protislovnosti pravil, za iskanje in odpravljanje napak in pomankljivosti v pravilih. TEIRESIAS je nadgradnja nad običajnimi ekspertnimi sistemi.

**EMYCIN** je nastal kot MYCINov modul. EMYCIN je ekspertni sistem za gradnjo ekspertnih sistemov. Njegovo delovanje temelji na spoznanju, da je mogoče z uporabo istega modula "mehanizmi sklepanja" z zamenjavo baze znanja dobiti nov ekspertni sistem za podobna problemska področja. Z uporabo EMYCINa so zgradili več sistemov: **PUFF** - program za ugotavljanje dihalnih obolenj z merjenjem izdihane sape; **HEADHED** - program za psihofarmacijsko področje; **SACON** - program za ugotavljanje najboljših metod za testiranje materialov; itd.

**PROSPECTOR** je ekspertni sistem za odkrivanje nahajališč rud in nafte. Znanje v sistemu je podano v obliki pravil, ki so povezana v semantično mrežo. V tipični aplikaciji da **PROSPECTOR** kot rezultat geografsko karto, na kateri so označene verjetnosti nahajališč določene rude.

Omenimo še sisteme **MOLGEN** (svetuje genetikom, kakšni poskusi pri raziskavah DNA so najbolj obetavni); **AM** (poskuša odkriti nove zanimive matematične koncepte); **MACSYMA** (rešuje nekatere matematične probleme kot so reševanje diferencialnih enačb, simbolično integriranje, itd.); **EL** (sistem za diagnostiko električnih vezij); **AGE** (sistem s bazo znanja za gradnjo sistemov z bazo znanja); **SU/X** (sistem za razpoznavanje identitete objektov v prostoru); itd.

#### 5. OCENA DELOVANJA EKSPERTNIH SISTEMOV

Omenili smo že, da je pri gradnji ekspertnih sistemov vse podrejeno čimboljšim rezultatom in s tem problemski domeni. To pa ne pomeni, da metoda ni važna, ampak da izbiramo take metode, od katerih pričakujemo najboljše rezultate. Prav tako to ne pomeni, da so ekspertni sistemi čista aplikacija teoretičnih dosežkov, tj. prenos teorije v prakso. Ne - ekspertni sistemi so velik dosežek umetne inteligence in so eno od najbolj cvetočih področij znanosti.

##### (a) Ocena ekspertnih sistemov z znanstvenega stališča

Najprej moramo odgovoriti na malce filozofsko vprašanje: "Ali so ekspertni sistemi inteligentni?" Odgovor je zagotovo "Da". Najboljši ekspertni sistemi dosegajo raven najboljših človeških strokovnjakov na področjih, ki zahtevajo inteligentnega pristop od kateregakoli nam znanoga bitja ali naprave. Pri tem nas ne sme motiti, da je ekspertni sistem pravzaprav računalniški program in kot tak vsaj teoretično predvidljiv, tj. da lahko do potankosti razložimo vsako navidez inteligentno operacijo (tega pri človeku ne moremo narediti). Poleg tega so znanstveniki prišli do prepričanja, da lahko pojem inteligence skoraj v celoti zamenjamo s predstavitvijo in uporabo znanja.

Najmočnejše orodje ekspertnih sistemov, produkcijske sisteme, so zelo uspešno uporabili za modeliranje človeškega razmišljanja. Tako so na ožjih področjih dostaj najuspešnejše posnamali človeško obašanje z vsemi najpomembnejšimi lastnostmi kot so učenje, pozabljanje, sklepanje, ...

Ekspertni sistemi so veliko prispevali k razvoju umetne inteligence (AI). Njihov razvoj je dokončno opravil z zmotnim prepričanjem, da morajo raziskovalci umetne inteligence odkriti globalne principe človeškega razmišljanja, s čemer bi že lahko pisali inteligentnejše programe, ki bi na izredno hitrih računalniških posnamali človeški (boljši) način razmišljanja. Ekspertni sistemi so pokazali, da ne gre za ono samo metodo, temveč da moramo poleg bolj splošnih metod izbrati tiste specialne metode, ki so ozko povezane s problemskim prostorom. Tako mora npr. robotski ekspertni sistem vsobovati znanjo o dinamiki, senzorijskih in metoda za učinkovito

rokovanje z njimi. Tudi sistemi, ki imajo veliko skupnih lastnosti (npr. MYCIN in DENDRAL oba uporabljata produkcijska pravila) se običajno v konkretni izvedbi močno razlikujejo.

Velik korak naprej je bila ugotovitev, da lahko uporabimo iste mehanizme sklepanja na podobnih problemih s tem, da zamenjamo bazo znanja o problemski domeni.

Pri izgradnji zahtevnejših sistemov je praviloma sodelovalo več najboljših strokovnjakov v najbolj znanih svetovnih obeh umetne inteligence. Izdelava takih sistemov je vzela nekaj ali nekaj deset blovek-let dela. Vse to nam pove, da je gradnja kvalitetnih ekspertnih sistemov izredno zahtevno delo. Še nekaj: pogosto se v znanosti obeta dober skok naprej na določenem področju in takrat se veliko znanstvenikov loti dela na tem področju. To nam dokazujejo številna istočasna odkritja (npr. telefon; itd.). Zdi se, da so tudi ekspertni sistemi tako področje.

Delo na področju ekspertnih sistemov je prispevalo k umetni inteligenci kot znanosti vsaj naslednje:

1. Izdelavo metod za uspešno predstavitev in uporabo znanja in s tem tudi za hitrejšo izdelavo novih ekspertnih sistemov.

Za izdelavo ekspertnega sistema DENDRAL je bilo potrebnih okoli 50-60 blovek-let, za MYCIN 20-30. Ti sistemi so kot pionirski dosežki odprli pot nadaljnemu razvoju. Danes nastajajo manjši sistemi v nekaj blovek-mesecih. To pohitritev vsaj za faktor 10 so dosegli predvsem z uporabo splošnejših, od problemskega prostora skoraj neodvisnih mehanizmov sklepanja, ki omogočajo hitro vlaganje specifičnega problemskega znanja. Lep primer je sistem EMYCIN, ekspertni sistem za gradnjo ekspertnih sistemov. Poleg tega so pri gradnji ekspertnih sistemov razvili množico novih metod za predstavitev in uporabo znanja. Te metode omogočajo gradnjo modularnih programov, ki jih je enostavno spreminjati, jim dodajati novo znanje, graditi učeče se sisteme, itd.. Največkrat pri tem ni šlo za iznajdbo novih metod, ampak za izvirne izboljšave prej večinoma teoretičnih metod. Ni dovolj, da poznamo metodo, dostikrat je pomembnejša konkretna izvedba metode, njena praktična uporaba tako je še zlasti na področju umetne inteligence.

2. Izdelavo metod za inteligentno komuniciranje z uporabnikom v skoraj naravnem jeziku.

Pri izgradnji ekspertnih sistemov so razvili tudi metode za inteligentno komuniciranje z uporabnikom, saj bi bil sicer celoten sistem za uporabnika nerazumljiv. Zato imajo običajno taki sistemi naslednje lastnosti:

- sistemi znajo popravljati brkovne napake (to lahko delajo predvsem zato, ker predvidevajo možne odgovore);
- njihov slovar besed je vezan na ozko specializirano področje in je kot tak uporabniku razumljiv in zadosten kljub manjšemu številu besedi;
- sistemi so sposobni pojasnjevati svoje odločitve;
- sistemi znajo odgovarjati na vprašanja o svojem delovanju, o vložnem znanju, itd. v skoraj naravnem jeziku.

(b) Ocena ekspertnih sistemov z uporabnega stališča:

Še se vprašamo, ali so ekspertni sistemi prinesli več dobrih, kot je bilo vložnega dela, je odgovor, merjeno samo z denarjem, seveda "ne". Sicer pa to velja za vse raziskovalne dosežke, dokler ne prodrejo v rutinsko rabo. Zdi se, da si ekspertni sistemi v zadnjih letih z velikimi koraki utirajo pot v vsakdanjo rabo. Realno je pričakovati, da bodo dobri ekspertni sistemi s stal-

nimi dodatki in izboljšavami dajali vedno boljše rezultate in da bodo v uporabi vsaj še nekaj deset let.

Naslednja značilna lastnost je, da so to zelo obsežni programi, praviloma kodirani v zelo zmogljivih programskih jezikih na velikih računalnikih. Najpogosteje uporabljani jezik je INTERLISP, ki je v interaktivni rabi kar nekaj desetkrat počasnejši od FORTRANa (ta pa je nekajkrat počasnejši od zbirnega jezika). Težko bi rekli, da je zmogljivost kodiranja prenosorazmerna počasnosti, še zlasti zato, ker bolj zmogljivi jeziki omogočajo prijeme, ki v nižje-nivojskih jezikih praktično niso mogoči. Ti veliki programi z velikimi prevajalniki na velikih računalnikih onemogočajo prodor ekspertnih sistemov na široko področje. Druga negativna posledica je velika cena zahtevane programske opreme in obratovanja. Prekodiranje sistema v nižjenivojski jezik pa ni preveč obetavno, saj onemogoča enostavno spreminjanje, itd..

Ekspertni sistemi se ukvarjajo s problemi, značilnimi za velike računalniške centre (univerze, raziskovalni inštituti, itd.). Zdi se, da bo pomemben korak naprej omogočil razvoj računalniških mrež, ki širokemu krogu uporabnikov omogočajo uporabo najnovejših verzij programov. Primer naj bo računalniški program DENDRAL, ki je preko mreže TYMNET dostopen po celi ZDA.

Naslednja navidez banalna lastnost prav tako otežuje uspešen prodor ekspertnih sistemov. Medtem ko so ljudje računalniške programe hitro sprejeli v pomoč pri računanju (ker slabo računajo), pa so ljudje po naravi inteligentna bitja in tu ne čutijo potrebe po pomoči. Tako so bolj uporabni ekspertni sistemi (npr. MACSYMA, DENDRAL, itd.), ki za uspešno obvladovanje prostora potrebujejo inteligentnost in računanje hkrati.

Tudi posrednost komuniciranja negativno vpliva na sprejemljivost ekspertnih sistemov. Medtem ko ljudje s pomočjo svojih čutil učinkovito in neposredno komunicirajo med seboj, je komuniciranje z računalnikom preko vtipkavanja podatkov in odčitavanja rezultatov precej omejeno. Kot primer vzemimo MYCIN (sistem za ugotavljanje diagnoze in terapije infekcijskih bolezni). Čeprav je MYCIN-ova kvaliteta nesporna in jo presegajo le najboljši svetovni zdravniki specialisti, ravno to posredniško komuniciranje bistveno ovira sprejemljivost sistema. Predstavljam si samo, da zdravnik pomotoma odtipka napačno težo pacienta in že bo natančno izračunano doziranje zdravil dalo povsem napačne rezultate.

Vendar pa so ekspertni sistemi običajno bolj zanesljivi kot ljudje, saj niso podvrženi motnjam, boleznim, utrujenosti itd. Poleg tega so praviloma hitrejši. Najboljši ekspertni sistemi dosega in na nekaterih ožjih področjih celo presegajo najboljše bloveške strokovnjake. Omenimo vsaj tri zelo uspešne ekspertne sisteme. To so DENDRAL (program za ugotavljanje kemične strukture neznane snovi), MACSYMA (program za reševanje mnogih matematičnih problemov kot so simbolično integriranje, itd.) in MOLGEN (program za načrtovanje eksperimentov v molekularni genetiki). Kolikor nam je znano, so ti trije sistemi v vsakodnevni rabi. Z njimi si pomagajo uporabniki pri reševanju problemov, ki jih ne znajo rešiti sami - zanje je ta računalniška pomoč hitrejša, cenejša in lažje dostopna kot pomoč človeških strokovnjakov.

Visoko kvaliteto dosega še nekaj drugih sistemov, vendar ti še niso poželi večjih uporabniških uspehov (npr. MYCIN). Ti sistemi pa so z znanstvega stališča izredno zanimivi in je precej verjetno, da bodo z dodatnimi izboljšavami le našli tudi konkretno uporabo. Nekateri

drugi sistemi (npr. AM za odkrivanje novih konceptov v matematiki) pa so čisto znanstveno usmerjeni in so mišljeni predvsem kot raziskave.

### 7. ZAKLJUČEK

Ekspertni sistemi so velik raziskovalni dosežek umetne inteligence. To so sistemi, ki so sposobni inteligentnega reševanja problemov in na nekaterih ožjih področjih dosegajo kvaliteto najboljših strokovnjakov. Da bi zgradili dober ekspertni sistem, je potrebno vložiti veliko dela, zato je izdelava metod za hitro gradnjo kvalitetnih ekspertnih sistemov pomenila velik napredek. S tem se je poraba blovskega časa zmanjšala vsaj za faktor 10, hkrati pa se je povečala učinkovitost teh sistemov. Razen redkih izjem ekspertni sistemi še niso dali najboljših rezultatov v konkretnih aplikacijah, vendar lahko pričakujemo v bližnji bodočnosti velik razvoj. Obetavnost tega področja nam dokazuje poleg izrazitega znanstvenega napredka v zadnjih letih tudi naraščajoče število znanstvenikov, ki se s tem področjem ukvarjajo v tehnično najrazvitejših državah sveta.

Poročilo bo naši skupini služilo kot osnova za podrobnejše proučevanje ekspertnih sistemov in za načrtovanje konkretnih aplikacij. Trenutno načrtujemo dvoje ekspertnih sistemov, enega za demografsko napovedovanje in drugega za olajšanje samoupravnih sporazumov.

### 8. LITERATURA

1. Bratko I.: Predstavitev znanja v robotskih sistemih; delovno poročilo IJS DP-1697, Ljubljana, 1979
2. Buchanan B.G., Feigenbaum E.A.: DENDRAL and METADENDRALI v reviji Artificial Intelligence, Vol.11, No. 1,2, 1978
3. Davis R., King J.: An Overview of Production Systems v Machine Intelligence 8 (str. 300), Edinburgh, 1977
4. Feigenbaum E.A.: The Art of Artificial Intelligence: Themes and Case Studies of Knowledge EngineeringI v Proceedings of the 5th IJCAI (str. 1014), Cambridge, USA, 1977
5. Gams M., Lavrač N.: Ekspertni sistemi; delovno poročilo IJS DP-1867, Ljubljana, 1979
6. McDermott D.: The Last Survey of Representation of Knowledge v Proceedings of AISB/GI Conference on Artificial Intelligence, Hamburg, 1978
7. Shortliffe E.H.: Computer-Based Medical Consultation: MYCINI Elsevier Scientific Publishing Company, 1976
8. Waterman D.A., Hayes-Roth F.: Pattern-Directed Inference Systems; Academic Press, 1978
9. Winston P.H.: Artificial Intelligence; Addison Wesley Publishing Company, 1977