

UNIVERZITET U BEOGRADU

CENTAR ZA MULTIDISCIPLINARNE STUDIJE

Mr Vladimir Srdanović

KONSULTATIVNI EKSPERTNI SISTEM
ZA PODRŠKU U MEDICINSKOM ODLUČIVANJU

Doktorska disertacija

Beograd, 1987.

P R E D G O V O R

Ova disertacija predstavlja pokušaj da se neki elementi medicinskog odlučivanja, karakteristični za domen reumatologije, a potencijalno i druge domene medicine sa sličnom strukturom, modeluju jednim konsultativnim ekspertnim sistemom.

Sistem je, s jedne strane, konstruisan tako da omogućava medicinskom ekspertu da svoje znanje, specifično za uži domen svoje specijalnosti (na primer, reumatologiju), unese neposredno u obliku tzv. produkcionih pravila.

S druge strane, u toku višegodišnjeg istraživačkog rada u ovoj oblasti i prisne saradnje sa nekim lekarima-ekspertima, uočio sam pojedine komponente karakteristične ne samo za dijagnostičko odlučivanje u okviru uske medicinske specijalnosti, već i takve da odražavaju rezonovanje koje je specifično za jednu širu klasu problema vezanih za medicinsko odlučivanje. U tom smislu, razvio sam i ugradio u konsultativni sistem više heurističkih postupaka kojima sam nastojao da modelujem ovo specifično rezonovanje medicinskih eksperata.

Jedan od originalnih takvih postupaka je onaj kojim sistem kombinuje znanje eksperta i podatke iz prakse i integriše ih u jedinstvenu bazu znanja sistema. Dijagnostičke snage kojima pojedine manifestacije ukazuju na moguće prisustvo određene bolesti, ocenjuju se na osnovu podataka njihovom relativnom

učestanošću pojave u kontekstu te bolesti, a predstavljaju se u obliku produkcionih pravila, dakle u istom obliku u kome je u sistemu predstavljeno znanje eksperta. Ovaj aspekt problema obradjen je u poglavlju 4.23.

Originalan je i postupak kojim se iz skupa parametara izdvajaju oni koji su bitni za proces odlučivanja. Ovom procedurom kao bitan se izdvaja onaj parametar koji kao premisa, sa bitno različitim dijagnostičkim snagama daje različite zaključke (krajnje dijagnoze). Ova procedura pokazala se kao efikasna u praksi, a njena računaska složenost pritom je znatno manja od odgovarajućih standardnih metoda. Ovaj postupak bliže je obradjen u poglavlju 4.31.

Još jedan originalni postupak razvijen za ovaj sistem je onaj kojim se baza znanja ekspertnog sistema restruktuiru na način adekvatan situaciji sa kojom je sistem suočen. Naime, u toku konsultacije sistem korisniku postavlja ona pitanja koja imaju najveću moć diskriminacije medju dijagnozama koje su u tom trenutku najverovatnije, odnosno pitanja koja se odnose na parametre bitne za vodeće dijagnoze. Drugim rečima, ovaj postupak omogućuje da se sistem adaptira problemu koji rešava. Ovo je predmet razmatranja u poglavlju 4.32.

Prikazani konsultativni ekspertni sistem poseduje više funkcija koje su veoma poželjne kod savremenih ekspertnih sistema. To je pre svega otvorenost sistema, odnosno mogućnost da se on koristi za podršku prilikom rešavanja problema u raznim medicinskim domenima. U vezi sa ovim je i sposobnost sistema da komunicira sa korisnikom na prirodnom jeziku ograničenog domena,

čime se isključuje potreba za programerom kao posrednikom, i omogućuje da ekspert sam, modularno, prenese svoje znanje sistemu u obliku produkcionih pravila. Sledeća osobina sistema je njegova sposobnost objedinjavanja funkcija ekspertnog sistema i sistema za upravljanje bazama podataka, čime se približava zahtevima primene ovakvih sistema u praksi. Sistem na fleksibilan način modelira neke od osnovnih tokova rezonovanja u medicinskom odlučivanju i omogućuje korisniku da prilagođava ovaj model zahtevima konkretnog domena u kome će biti primenjen, što je osobina koja je posebno poželjna u obrazovnom procesu. Takodje, prikazani sistem u stanju je da daje objašnjenja za svoje rezonovanje, pri čemu ih potkrepljuje podacima iz svoje baze znanja, odnosno literature koja je citirana.

U Uvodu je dat pregled zahteva kliničke prakse za primenu tehnologije za obradu informacija u medicini, kao i neki socijalni, ekonomski i psihološki aspekti u vezi s tim.

U glavi 2. dat je pregled dosadašnjih pristupa problemu računarske podrške u medicinskom odlučivanju.

U glavi 3. razmotren je pristup veštačke inteligencije problemu medicinskog odlučivanja. Posebna pažnja posvećena je konsultativnim ekspertnim sistemima i dat je sažet prikaz vodećih medju njima.

U glavi 4. detaljno je prikazan konsultativni ekspertni sistem BELART. Posebno su istaknuta originalna rešenja pojedinih problema, u čemu se ovaj sistem razlikuje od onih prikazanih u glavi 3.

+ + +

Ovom prilikom želeo bih da izrazim svoju posebnu zahvalnost Prof. dr. Harry E. Pople-u, Jr., koji me je inspirisao svojim monumentalnim radom i svojim savetima i potstrekom ohrabrivao u tome da istrajem u mom radu; Prim. dr. Branku Limiću, lekaru specijalisti reumatologu, za predanu i dugogodišnju saradnju, koji mi je pomogao da sagledam neke bitne komponente rezonovanja u medicinskom odlučivanju; Prof. dr. Nedeljku Parezanoviću, od koga sam stekao svoja prva znanja o računarima, a čiji su znalački saveti i pedantni pristup bili od posebnog značaja u izradi ove teze; Prof. dr. Ivanu Bratku, čije su poznavanje problematike i svesrdno zalaganje odigrali odlučujuću ulogu u tome da ova teza dobije svoju konačnu formu; Prof. dr. Zoranu Stojiljkoviću, u čijoj sam kolegijalnosti i stručnim savetima nalazio potstreka i energije da ovaj veliki rad privedem kraju; dr. Ljubomiru Radanoviću, čiji su mi komentari i znanja u toku višegodišnje saradnje, a posebno sada pomogli da probleme sagledam u novom svetlu; Prof. dr. Juliusu Ivanušu, koji me je svojim stručnim savetima iskusnog istraživača i prijateljskim stavom usmerio u mom radu; Prof. dr. Vlastimiru Mladenoviću, čiji su saveti i primedbe iskusnog eksperta reumatologa imali poseban značaj, kako neposredan, tako i onaj koji se tiče budućeg rada u ovoj oblasti; najзад, ing. Miodragu Trajkoviću, za prijateljsko, nesebično zalaganje kojim je doprineo da mikroračunarska verzija sistema postane operativna.

S A D R Ž A J

	STRANA
PREDGOVOR	ii
1.0 UVOD	1
1.1 ZAHTEVI KLINIČKE PRAKSE	1
1.2 SOCIJALNI I EKONOMSKI RAZLOZI	2
1.3 PSIHOLOŠKI ASPEKTI	5
2.0 PREGLED DOSADAŠNJIH PRISTUPA PROBLEMU RAČUNARSKE PODRŠKE U MEDICINSKOM ODLUČIVANJU	6
2.1 STATISTIČKI PRISTUPI	7
2.2 PRISTUP METODOM PREPOZNAVANJA OBLIKA	13
2.3 PRISTUP METODOM LOGIKE GRANANJA	16
3.0 PRISTUP VEŠTAČKE INTELIGENCIJE PROBLEMU MEDICINSKOG ODLUČIVANJA	20
3.1 POJAM I OSNOVNE METODE VEŠTAČKE INTELIGENCIJE	23
3.11 Pretraživanje prostora stanja	24
3.12 Redukcija problema	26
3.2 KONSULTATIVNI EKSPERTNI SISTEMI	27
3.21 MYCIN	32
3.22 INTERNIST/CADUCEUS	36
3.23 CASNET	40
3.24 PIP	43
3.25 EXPERT	45
4.0 KONSULTATIVNI EKSPERTNI SISTEM BELART	49
4.1 STRUKTURA SISTEMA	51
4.2 PREDSTAVLJANJE ZNANJA	56
4.21 Pojam i način definisanja parametara	56
4.22 Veze medju parametrima	59
4.23 Automatsko formiranje pravila	64
4.3 REZONOVANJE O DOMENU	70
4.31 Odredjivanje bitnih parametara	70
4.32 Restruktuiranje baze znanja	73
4.33 Konsultativni proces	75
4.34 Propagiranje informacije	78
4.4 TRANSFER EKSPERTNOG ZNANJA	81
4.5 SPOSOBNOST OBJAŠNJAVANJA I OPRAVDAVANJA REZONOVANJA	84
4.6 EVALUACIJA	87
5.0 DISKUSIJA	98
6.0 ZAKLJUČAK	110
7.0 SUMMARY	115
PRILOG A DEFINISANJE DOMENA	120
PRILOG B FORMIRANJE BAZE PODATAKA	128
PRILOG C PRIPREMA SISTEMA ZA KONSULTACIJU	131
PRILOG D KONSULTATIVNI PROCES	135
PRILOG E PRIMERI STRUKTURA I PODATAKA	139
BIBLIOGRAFIJA	169

1.0 U V O D

Pojava savremene tehnologije za obradu informacija otvorila je istovremeno niz mogućnosti za njenu primenu u najrazličitijim oblastima ljudskih aktivnosti. Jedna od oblasti koja se već dugo vremena smatra plodnim tlom za primenu ove nove tehnologije je oblast kliničke medicine. Razlozi za ovo stanovište su višestruki.

1.1 ZAHTEVI KLINIČKE PRAKSE

Potrebno je da lekaru-kliničaru bude dostupna ogromna baza podataka. Priroda ovih podataka je raznolika i obuhvata ne samo podatke o pacijentima iz kliničke prakse (posebno o slučajevima koji se redje, ili veoma retko susreću), već i specifična znanja vezana za odredjeni domen medicine. Stoga se lekar opšte prakse, suočen sa neobičnim ili teškim problemom, za koji nema osnovno specijalizovano znanje, obraća specijalistima, ili ekspertima u oblastima koje se odnose na problem, kako bi preko njih došao do relevantnih delova široke medicinske baze znanja. Nažalost, razume se da ovakvo konsultovanje nije uvek moguće, naročito u zabačenim, medicinski nedovoljno opsluženim oblastima.

1.2 SOCIJALNI I EKONOMSKI RAZLOZI

U upravo pomenutom slučaju, kada lekaru opšte prakse nije dostupna konsultativna pomoć specijaliste-eksperta, uobičajeno je da se pacijent upućuje specijalisti, čime se dodatno, a ponekad i nepotrebno produžava tretman pacijenta, odnosno povećavaju troškovi.

Problem nejednačenosti kvaliteta zdravstvene zaštite (odnosno medicinske opsluženosti) pojedinih regiona, sa kojom se mi suočavamo, još je izraženiji u zemljama tzv. trećeg sveta. Međutim, da ovaj problem postoji i u visoko razvijenim zemljama, sa različitih aspekata ukazuje više autora. Naime, dok u SAD postoji zabrinutost zbog prevelikog broja lekara, u Francuskoj ih je decembra 1982 već bilo 1600 nezaposlenih [239], a Lister iznosi podatak [117], da u celoj Engleskoj postoji samo 1400 konsultanata (specijalista), što se smatra relativno malim brojem. Pored ovih činjenica koje govore o nejednačnom broju lekara u razvijenim zemljama, Brook [23], iznosi rezultate istraživanja koja govore o visokom stepenu nejednačenosti zdravstvene prakse u regionima sa veoma ujednačenim i relativno visokim nivoom zdravstvene opsluženosti.

Tendencija razvoja sistema zdravstvene zaštite u visoko razvijenim zemljama, pa i kod nas, ukazuje na stalni rast dela sredstava koja se u nacionalnim budžetima izdvajaju za zdravstvo [243], a u prvom redu za porast cena usluga visoko specijalizovanih medicinskih stručnjaka. Ovo je rezultat rastućih zahteva za dodatnim obrazovanjem ovih stručnjaka, što na

odgovarajući način povećava i cenu takvog obrazovanja.

Potreba za doslednim rešavanjem ovih problema postavlja pred vlade svih zemalja zahtev za značajna ulaganja i traženje novih tehnoloških rešenja u cilju podizanja opšteg kvaliteta zdravstvene zaštite stanovništva.

Lusted [119], izražava mišljenje da su, suočene sa problemom obuzdavanja rastućih troškova zdravstvene zaštite, vlade sve spremnije da u svojim zemljama podstiču razvoj medicinskih informacionih sistema i računarske podrške odlučivanju u zdravstvu. Štaviše, on, a i drugi autori, [49], ukazuju na teoriju ekonomiste Kondratijeva koja govori o povezanosti naučnih istraživanja, tehnoloških inovacija i ekonomskog rasta, i o njihovom cikličnom smenjivanju. Prema ovoj teoriji, recesija i svetska ekonomska kriza, sa kojom smo poslednjih nekoliko godina bili suočeni, mogu označavati početak novog ciklusa u kome će jedan od glavnih podstreka novom ekonomskom rastu dati upravo inovacije u oblasti biotehnologije i mikroprocesorske tehnologije za obradu informacija. A uloga računara, medicinskih informacionih sistema i sistema za podršku u medicinskom odlučivanju u stalnom je usponu u oblasti zdravstvene i medicinske zaštite, oblasti koja u nacionalnom budžetu svake zemlje predstavlja jednu od najznačajnijih stavki.

Takodje, sve je veća uloga tzv. visoke tehnologije u zdravstvu, koja pruža dosad nedostupne informacije o pacijentu, ili omogućuje primenu novih terapijskih postupaka. Ova tehnologija na svojstven način odražava činjenicu da su današnji materijalni i ljudski resursi u ogromnoj meri angažovani za potrebe zdravstva.

Nova znanja iz medicine i drugih naučnih disciplina, koja su omogućila ovaj razvoj, doprinela su stvaranju obilja novih informacija koje pred ljude kojima su namenjene (u ovom slučaju lekare) postavljaju nove probleme i nove zahteve. Simon [215], ovu pojavu smatra svojevrsnim zagadjenjem ("information pollution") i ukazuje na veliki značaj rešavanja problema pravovremenog odabira relevantnih informacija, kao i ulogu koju će u nalaženju tih rešenja imati računari. Neka istraživanja u konkretnim kliničkim situacijama (sredinama) pokazala su da lekari relativno lako mogu da previde razne informacije o pacijentima, ako im one nisu prezentirane na upadljiv način [193].

S druge strane, međutim, nova saznanja, kao i orijentacija ka dinamičnijem sistemu medicinskih službi, u kome uloga pojedinca donekle gubi na značaju, uticali su i na to da se neki delovi procesa medicinskog odlučivanja (kako u ambulantnom, tako i u bolničkom tretmanu pacijenta) prenesu na para-medicinsko osoblje, pa čak i automatizuju do te mere da se mogu preneti na računar [101].

Sve niže cene tehnologije za obradu informacija, što je čini sve dostupnijom za široku upotrebu, kao i određene prednosti koje ona ima u rešavanju nabrojanih problema, ukazuju na velike mogućnosti za njenu primenu u zdravstvu, a posebno u oblasti medicinskog odlučivanja.

1.3 PSIHOLOSKI ASPEKTI

Prema mišljenju nekih autora, [273], postoje indikacije da pacijenti žele i sami da učestvuju u donošenju odluka koje se tiču zdravstvenog aspekta njihove ličnosti. Pojedinaac, naime, u sve većoj meri želi da donosi takve odluke, ali i preuzima punu odgovornost za to.

"Sve veća dostupnost ličnih računara i njihova upotreba kod kuće, mogućnost pristupa bazama podataka i priborima za monitoring i kućnu dijagnostiku, mogu stimulatивно da deluju na razvoj medicinskih informacionih sistema i sistema za dijagnostičku podršku uz pomoć računara.", Lusted,[119].

Za uzvrat, ovakav razvoj mogao bi uticati na smanjenje potražnje za pojedinim vrstama medicinskih usluga.

2.0 PREGLED DOSADAŠNJIH PRISTUPA PROBLEMU RAČUNARSKE PODRSKE U MEDICINSKOM ODLUČIVANJU

Sa prvim primenama računara u komercijalne svrhe, početkom pedesetih godina u SAD, javile su se i prve ideje o njihovoj mogućoj primeni za podršku u medicinskom odlučivanju. Smatra se da je jedan od prvih značajnih radova u ovoj oblasti rad Ledley-a i Lusted-a, "Osnove zaključivanja u medicinskoj dijagnostici", objavljen u časopisu Science, 1959. godine, [107].

U ovom radu autori su nastojali da preciznije formulišu oblast koju danas nazivamo medicinskom dijagnostikom uz pomoć računara. Po njima, proces medicinske dijagnostike odvija se tako što se postupno primenjuju 1) logička analiza kojom se određuju moguće alternativne dijagnoze; 2) statistička analiza kojom se određuju verovatnoće tih alternativa; i 3) teorija vrednosti, koja pomaže pri izboru plana tretmana. Vredno je napomenuti da već u ovom radu, deo koji se odnosi na logičku analizu problema sadrži elemente karakteristične za savremeni pristup metodama veštačke inteligencije.

Prvi radovi su, naročito medju lekarima, izazvali dosta nepoverenja i dobili mahom negativne ocene. Medjutim, interesovanje za istraživanja na polju primene računara u biologiji i medicini počelo je uprkos tome da raste. Kao rezultat porasta interesovanja, 1960. godine usledila je i odluka američkih Nacionalnih instituta za zdravstvo (NIH) o osnivanju

Savetodavnog komiteta za primenu računara u istraživanjima (ACCR), što je praktično označilo početak namenskog izdvajanja sredstava za istraživanja u ovoj oblasti.

Na sličan način događaji su tekli i u drugim razvijenim zemljama, a nešto kasnije i kod nas.

Do danas je u svetu sačinjeno doslovno stotine računarskih programa koji su na ovaj ili onaj način bili namenjeni pružanju računarske podrške u medicinskom odlučivanju. Pritom su korišćeni razni pristupi - od statističkih, na jednoj strani (odeljak 2.1), preko prepoznavanja oblika (odeljak 2.2), "fuzzy" skupova [276], teorije informacija [272], do onih koji se koriste isključivo kategoričkim rezonovanjem, odnosno logikom (odeljak 2.3), na drugoj strani.

Ovom prilikom biće dat kratak kritički prikaz nekih od ovih pristupa.

2.1 STATISTIČKI PRISTUPI

Medju raznim statističkim pristupima najčešće je primenjivana poznata Bajesova (Bayes) teorema, odnosno tzv. formula verovatnoća hipoteza.

Predpostavke Bajesove teoreme su sledeće:

Neka D_j , $j=1,2,\dots,n$ čine potpun skup događaja, tj.,

$$\bigcup_{j=1}^n D_j = \Omega \quad (2.1)$$

i neka su ti događaji disjunktni, tj.

$$D_j \cap D_k = \emptyset, \quad j \neq k \quad (2.2)$$

(Drugim rečima, izvesno je da će se dogoditi jedan od događaja D_j , kao i da se ovi događaji međusobno isključuju, odnosno da se istovremeno može dogoditi samo jedan od događaja D_j .)

Takodje, neka radi kratkoće obeležavanja događaj M označava istovremenu pojavu događaja $M_1, M_2, \dots, M_m$, tj.

$$M = (M_1, M_2, \dots, M_m)$$

Tada je, prema Bajesovoj teoremi

$$P(D_j|M) = \frac{P(M|D_j) P(D_j)}{\sum_{k=1}^n P(M|D_k) P(D_k)} \quad (2.3)$$

gde $P(A)$ predstavlja verovatnoću događaja A , a $P(A|B)$ uslovnu verovatnoću, odnosno verovatnoću događaja A , pod uslovom da se odigrao događaj B .

Interpretacija Bajesove teoreme u medicinskoj dijagnostici je sledeća:

D_j , $j=1,2,\dots,n$ označava skup dijagnoza svih mogućih bolesti u posmatranom domenu.

M_i , $i=1,2,\dots,m$ označava skup svih mogućih manifestacija koje se javljaju kod pacijenata. Pojam manifestacije obuhvata razne simptome, znake, nalaze i druge atribute.

Bajesova teorema tada daje verovatnoću prisustva bolesti D_j za svako $j=1,\dots,n$ kod pacijenta sa manifestacijama $M=(M_1, M_2, \dots, M_m)$, ($P(D_j|M)$). Ove verovatnoće, koje se nazivaju

i a posteriori verovatnoćama, izražavaju se preko tzv. a priori verovatnoća, ($P(M | D_j)$), tj. preko verovatnoća pojave bolesti D_j , ($P(D_j)$, $j=1, \dots, n$), kao i verovatnoća da pacijent ima manifestacije M , ako je oboleo od bolesti D_j , ($P(M | D_j)$, $j=1, \dots, n$).

Zajedničke verovatnoće $P(M_1, \dots, M_n, D_j)$ mogu se izraziti preko niza uslovnih verovatnoća na sledeći način:

$$P(M_1, \dots, M_n, D_j) = \quad (2.4)$$

$$= P(M_1 | M_2, \dots, M_n, D_j) P(M_2 | M_3, \dots, M_n, D_j) \dots P(M_n | D) P(D_j)$$

Primenom (2.4) može se dobiti sledeći oblik Bajesove formule (2.3):

$$P(D_j | M_1, \dots, M_k) = \frac{P(M_k | D_j, M_1, \dots, M_{k-1}) P(D_j | M_1, \dots, M_{k-1})}{\sum_{i=1}^n P(M_k | D_i, M_1, \dots, M_{k-1}) P(D_i | M_1, \dots, M_{k-1})} \quad (2.5)$$

Oblik (2.5) Bajesove formule posebno je pogodan kod procedure sa sekvencijalnim odlučivanjem. Naime, u ovom obliku Bajesova formula može da se koristi za izvodjenje zaključaka na osnovu bilo koga niza ulaznih podataka o manifestacijama M_k . Šta više, ova procedura se može koristiti da se odredi koji će od nepoznatih atributa (manifestacija) imati najveću sposobnost diskriminacije pri izboru alternativnih dijagnoza. Stoga se ovaj oblik može koristiti u situacijama kada se podaci prikupljaju interaktivno i sekvencijalno, [255], [75].

Primena Bajesovih dijagnostičkih procedura povlači kako filozofske, tako i metodološke probleme, koji su iscrpno obrađeni

u literaturi, [108], [64], [238], [36].

Jedan od osnovnih problema vezanih za primenu ove metode je kako doći do čitavog niza zajedničkih (ili uslovnih) verovatnoća, potrebnih da se opiše čak i mala klasa bolesti i odgovarajuće simptomatologije. Naime, pretpostavimo da kod pacijenata posmatramo samo 30 manifestacija (u praksi ovaj broj često prelazi 100), koje mogu uzeti samo jednu od dve (binarne) vrednosti: manifestacija je "prisutna", odnosno "nije prisutna". (Ova druga pretpostavka, da manifestacije mogu imati samo binarne vrednosti, predstavlja, razume se, donju granicu onoga što se susreće u praksi, ali ćemo je razmatrati i zbog toga što se manifestacije koje imaju više vrednosti mogu uvek predstaviti kao više manifestacija koje imaju binarne vrednosti.) Pod ovim pretpostavkama postojalo bi, dakle, 2^{30} ($>10^9$) mogućih kombinacija različitih manifestacija posmatranih bolesti kod pacijenata. Ova činjenica jasno ukazuje da su veličine uzoraka koje su dostupne u medicinskoj praksi sasvim nedovoljne za izvodjenje pouzdanih statističkih zaključaka. Drugim rečima, u najvećem broju slučajeva jednostavno ne postoje podaci o relativnim frekvencijama, koji su neophodni za ocenu pomenutih zajedničkih (ili uslovnih) verovatnoća.

Da bi se prevazišao ovaj problem, često se prilikom primene Bajesovskih procedura pribegava pretpostavci o medjusobnoj nezavisnosti manifestacija. Uz ovu pretpostavku važi sledeća jednakost:

$$P(M_1, M_2, \dots, M_n | D_j) = P(M_1 | D_j) P(M_2 | D_j) \dots P(M_n | D_j) \quad (2.6)$$

Jednakost (2.6) u mnogome uprošćava zadatak prikupljanja podataka. Celokupna baza podataka sada se može predstaviti pomoću dvodimenzionalne matrice sa elementima $P(M_i | D_j)$, i vektora sa elementima $P(D_j)$. Oceniti ove verovatnoće (elementa matrice, odnosno vektora) već je zadatak koji je lakše ostvariti u praksi, a na osnovu njih mogu se izračunati sve druge tražene verovatnoće.

Medjutim, pretpostavka o međusobnoj nezavisnosti značila bi, na primer, da ne postoji nikakva zavisnost između povećanog sadržaja holesterola u krvi i povećanog krvnog pritiska. Na žalost, ovaj primer predstavlja pre pravilo nego izuzetak, što ukazuje na problematičnost pretpostavke o nezavisnosti.

Već iz načina na koji su manifestacije definisane ranije u tekstu, vidi se da se one među sobom mogu bitno razlikovati. Medjutim, retko kada su manifestacije u funkciji od jednog, izolovanog, "osnovnog" parametra. Mnogo češće manifestacije predstavljaju složene funkcije više različitih parametara od kojih neki i sami figurišu kao manifestacije.

U vezi sa ovim može se postaviti i pitanje izbora adekvatnog skupa manifestacija, odnosno atributa kojima bi specifična grupa bolesti, ili patoloških stanja bila na optimalan način opisana.

Bez sumnje da se u medicinskoj praksi nastoji da se specifične bolesti opisuju što manjim brojem manifestacija (atributa), koji su za tu bolest u što većoj meri relevantni, po mogućstvu patognomonični. (Obično se dešava, pak da patognomonične manifestacije u složenim slučajevima podrazumevaju primenu procedura koje su invazivne, skupe, ili dugotrajne.)

Medjutim, isto tako, u procesu sticanja saznanja o uzročnim vezama medju pojavama u okviru specifičnog domena nauke, pa dakle i medicine, jedan od prvih, i vrlo značajnih koraka predstavlja i saznanje o tome da medju posmatranim pojavama (manifestacijama u našem slučaju) uopšte postoji medjusobna zavisnost.

Sledeća pretpostavka Bajesove teoreme koja u praksi često nije ispunjena, je pretpostavka disjunktnosti dijagnoza (2.2), koja isključuje mogućnost da je kod određenog pacijenta istovremeno prisutno više od jedne bolesti. Medjutim, iskustva kliničke prakse govore da su poznati slučajevi u kojima je utvrđeno istovremeno prisustvo po deset i više bolesti kod istog pacijenta. Time zadatak sa kojim se suočava lekar (ili sistem koji treba da pruži dijagnostičku pomoć) postaje znatno složeniji. Naime, potrebno je odlučiti se, ne između približno 10^4 dijagnoza bolesti koje su poznate današnjoj medicini, već između 10^{40} njihovih kombinacija [177].

Neki autori, [60], [14], predlagali su rešenja kojima bi se donekle prevazišao ovaj problem. Naime, da bi se rešavao problem složene kliničke dijagnoze, skup svih bolesti, $\{D_j\}$, može se podeliti u Q podskupova, koji ne moraju biti medjusobno disjunktni, ali od kojih se svaki uzima kao uzajamno isključiva i iscrpna lista "diferencijalnih dijagnoza". Ako je M relativno mali broj, bilo bi moguće primeniti Bajesovo odlučivanje čime bi pokušalo da se reši svih Q problema odlučivanja jednovremeno.

Kao alternativa, mogu se koristiti heuristička "pravila aktiviranja", ili se pak može osloniti na lica koja koriste sistem da ona izaberu odgovarajuće potprobleme za dalju analizu, [272], [170]. Kako ovaj drugi pristup zahteva da se donese

početna odluka u vezi sa potproblemima koje treba istražiti, izuzetna pažnja se mora posvetiti tome da se analitičkom procesu obezbedi mogućnost oporavljanja od "pogrešnih početaka". Inače, ovakve vrste teškoća, koje se često sreću u dijagnostičkim sistemima "logike grananja" (ili "drveta odlučivanja"), o kojima će se raspravljati u odeljku 2.3, mogu bitno da ograniče korisnost ovog pristupa.

2.2 PRISTUP METODOM PREPOZNAVANJA OBLIKA

Metodologija prepoznavanja oblika, [59], [69], [70], [71], [72], [172], [202], [230], [231], primenjuje se na probleme predstavljene u sledećem obliku.

Neka je u jednoj fizičkoj sredini definisano n veličina $x_1, x_2, \dots, x_n$ koje zadovoljavaju određene uslove u pogledu formiranja $c, c \geq 2$ separabilnih mernih vektora $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$,

[59], [71], [231]. Prvi uslovi odnose se na fizičku sredinu u kojoj se meri n karakterističnih veličina. Oni se nazivaju uslovima prirode stvari i odnose se na mogućnost generiranja $N, N \geq c$, nezavisnih mernih vektora X , takvih da se svakom može, sa određenom verovatnoćom tačne odluke, pridružiti jedan od c različitih atributa $w_i, i=1, \dots, c$. Kriterijum pridruživanja definisan je pravilom odlučivanja. Neposredni operator pridruživanja je diskriminaciona funkcija $h_i(X), i=1, \dots, c$. Kaže se da X pridružuje w_j , ili $X \rightarrow X^j$, ako je

$$\max_i h_i(X) = h_j(X) \quad (2.7)$$

Merni vektori koji se pridružuju istom atributu čine jednu klasu. Priroda stvari je objektivno postojeće stanje fizičke sredine u odnosu na n veličina $x_1, x_2, \dots, x_n$ i c atributa w_i . Prirodno optimalna diskriminaciona funkcija je verovatnoća pripadanja mernog vektora X klasi w_i , tj. $\text{opt}(X) = P(w_i|X)$. Pravilo odlučivanja koje koristi prirodno optimalnu diskriminacionu funkciju je poznato Bajesovo optimalno pravilo odlučivanja sa minimalnom verovatnoćom pogrešne odluke.

Drugi kompleks uslova odnosi se na čoveka istraživača, koji po nekim kriterijumima želi da definiše neki problem prepoznavanja oblika. U tom cilju, potrebno je da oceni koje će veličine meriti, kao i način i opremu za njihovo merenje. On takodje odredjuje i attribute za formiranje klasa. Time u stvari on vrši procenu prirode stvari. Koliko će ta procena biti verna zavisiće od mnogo faktora. Najpre, tu je njegovo iskustvo i poznavanje procesa koji se odvija u fizičkoj sredini - nosiocu klasa; tu su zatim i njegova snalažljivost, kreativna sposobnost, a na kraju i obim i kvalitet rezultata koji se očekuju. Od uticaja je i kapacitet opreme za obradu informacija koja je na raspolaganju.

Optimalna diskriminaciona funkcija služi kao uzor za formiranje realne diskriminacione funkcije u konkretnom slučaju. Međutim, u praksi je gotovo uvek jedina informacija kojom se raspolaže N uzoraka mernih vektora, gde je N konačan i često relativno mali broj. Osim toga, sem u trivijalnim slučajevima, obično se skoro ništa ne zna o statističkim funkcijama raspodele uzorka, što je već naglašeno u prethodnom odeljku.

Postoje dva principijelno različita prilaza problemu. Prvi se primenjuje u slučajevima kada se zna matematički oblik diskriminacione funkcije, koju treba proceniti posredno preko karakterističnih parametara, a na osnovu N uzoraka. Karakteristični parametri su kovarijacione matrice $\sum_i$ i srednji vektori M_i klasa. Drugi prilaz je opštiji jer ne zahteva dodatne informacije u smislu matematičkog oblika diskriminacione funkcije. Diskriminaciona funkcija se dobija u direktnoj relaciji sa uzorcima. Za svaki novi merni vektor X pozivaju se uzorci iz njegove neposredne okoline i uspostavljaju direktne relacije za izračunavanje diskriminacione funkcije. Zajednički naziv metoda koje su zasnovane na tom principu su neparametarske metode klasifikacije, [230].

U primeru medicinske dijagnostike, ovako predstavljen problem ima interpretaciju u kojoj veličine $x_1, x_2, \dots, x_n$ predstavljaju n manifestacija koje se posmatraju kod pacijenata, a w_i , $i=1, 2, \dots, c$ c različitih dijagnostičkih kategorija u koje se pacijenti mogu svrstati.

Činjenica da Bajesov princip igra značajnu ulogu kod različitih metodologija odlučivanja, ukazuje na dublji značaj koji ovaj princip ima. Naime, to je posledica optimalnosti koja je u izvesnom smislu svojstvena Bajesovskim metodama zaključivanja. Postoji poseban pravac koji apriorne raspodele verovatnoće tumači kao subjektivne verovatnoće, tj. kao meru subjektivnog uverenja koje pojedinac ima u odredjenom trenutku, na osnovu poznatih informacija, ([36], str.381). Neki autori čak zaključuju da svako odstupanje od primene Bajesove teoreme i drugih osnovnih zakona verovatnoće, kojima bi se kombinovalе ove

verovatnoće, predstavlja suštinski nedosledno ponašanje i stoga treba da bude odbačeno. Razume se, da se ovakav stav ne može prihvatiti bez rezervi. Posebna diskusija o ovom pitanju data je u [47] i [36].

Medjutim, kada je apriorne raspodele verovatnoća moguće oceniti na osnovu raspodele frekvencija, primena Bajesovske analize se ne dovodi u pitanje, [36].

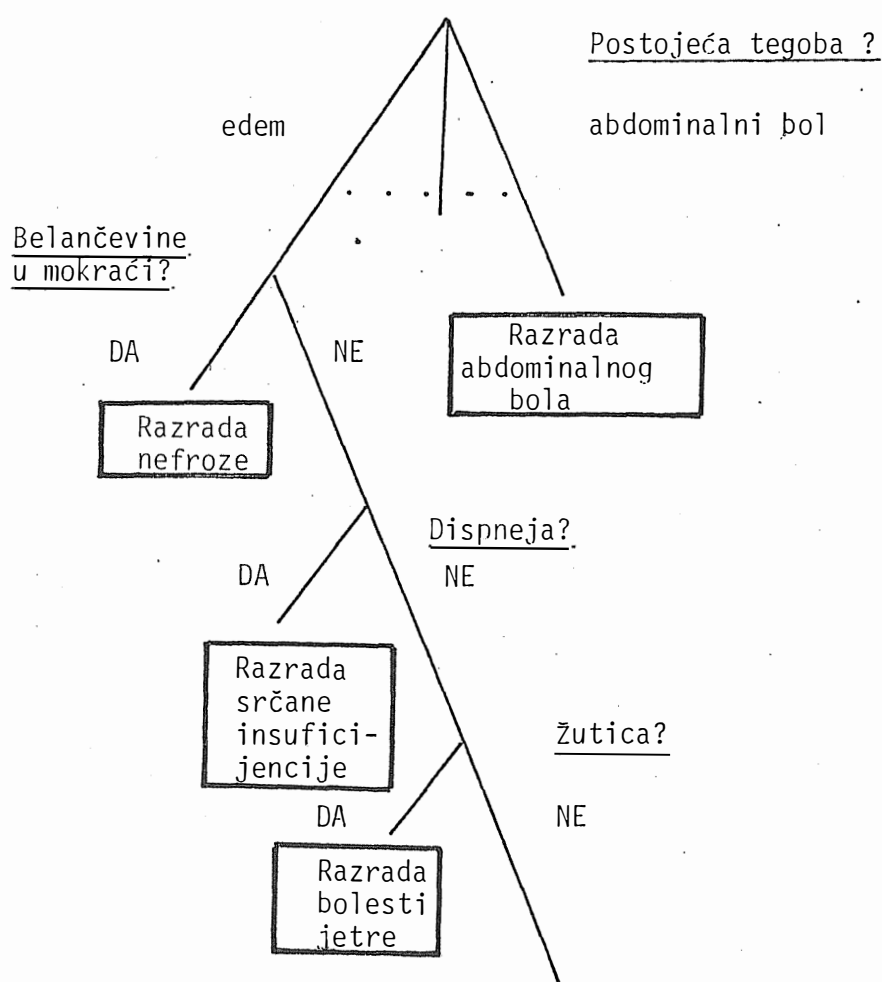
2.3 PRISTUP METODOM LOGIKE GRANANJA

Jedan od pristupa koji je često korišćen u automatizovanoj dijagnostici je i pristup logike grananja, ili tzv. drveta odlučivanja. Suština ovog pristupa je u postavljanju niza diskriminativnih pitanja koja sukcesivno sužavaju skup mogućih dijagnoza koje su uzete u obzir u analizi posmatranog slučaja, dok, najzad, u graničnom slučaju ne preostane jedna jedina dijagnoza.

Naizgled, dijagnostička procedura koja koristi logiku grananja funkcioniše na isti način kao sekvencijalna Bajesova procedura. Medjutim, postoje bitne razlike izmedju baza podataka i postupaka zaključivanja kojima se ove dve procedure koriste.

Baza podataka za proceduru logike grananja je mreža, čiji svaki čvor predstavlja odluku (pitanje). Zavisno od početnih uslova datog slučaja, procedura zaključivanja počinje u nekoj tački mreže, a zatim ide od čvora do čvora - birajući na svakoj tački diskriminativnu informaciju koju zahteva proces odlučivanja

Pristup dijagnostici
logikom grananja



Slika 2. 1.

vezan za odgovarajući čvor. Zatim se, na osnovu rezultata, odlučuje koji čvor treba da bude sledeći (Slika 2.1).

Glavna mana ovog metoda je njegova nesposobnost da uzme u obzir i nove i konfliktnu informacije, pošto je već načinio nekoliko "odluka". Kako se centar pažnje kreće mrežom, raniji čvorovi ili odluke postaju nepristupačni, tako da je nemoguće povući se sa odredjenih pozicija pod uticajem novih informacija. Drugim rečima, ovaj model se pod izvesnim uslovima može naći u "ćorsokaku" iz koga više ne može da se izvuče.

Teoretski, gledano, ne postoje prepreke da se mreža proširi tako da bi iz svakog čvora mreže bila dostupna svaka, pa i "ranije odbačena" odluka. Ovakvo proširenje, međjutim, imalo bi za posledicu eksponencijalni rast ("kombinatorijalnu eksploziju") broja čvorova u mreži, što bi u iole složenijim slučajevima predstavljalo praktičnu prepreku za funkcionisanje ovakvog sistema. Diskusija problema složenosti algoritma data je u [11], [175], a neki osnovni rezultati u [52], [53], [80], [81], [98], [173], [174], [175], [218].

Druga slabost ovoga metoda je - za razliku od ranije opisane Bajesove procedure - da dijagnostički program baziran na logici grananja nije u stanju da obradi ulazne podatke ako se oni nalaze u proizvoljnom poretku. Niz ulaznih informacija neophodnih u dijagnostičkom procesu potpuno je odredjen strukturom mreže odlučivanja i nizom prethodnih odluka.

Ove karakteristike isključuju upotrebu metode logike grananja kao opšteg kliničkog dijagnostičkog sredstva. Međjutim, pokazalo se da je ovaj metod izuzetno koristan u izvesnim fazama dijagnostičkog procesa, na primer, u planiranju laboratorijskih

testova i analizi dobijenih podataka, [16].

3.0 PRISTUP VESTAČKE INTELIGENCIJE PROBLEMU MEDICINSKOG ODLUČIVANJA

Jedna zajednička karakteristika koja se može pripisati dosad navedenim pristupima je da su probleme medicinske dijagnostike i odlučivanja razmatrali u relativno grubim i nerealnim formalnim okvirima. Otuda ne iznenadjuje njihova ograničena mogućnost primene izvan uskih i vrlo precizno definisanih domena.

Priroda problema sa kojima se suočavaju lekari prilikom donošenja dijagnoza i odlučivanja u medicini nosi svoja specifična obeležja. Očigledno je da proces donošenja dijagnoze u kliničkoj praksi podrazumeva složenu obradu informacija koja ima malo sličnosti sa bilo kojom od do sada navedenih metoda. Pople [179] smatra da:

"Iako pojam verodostojnosti očitó igra izvesnu ulogu u načinu na koji lekar razmišlja, takodje je jasno da postoji nekakva suštinska logika dijagnostičkog procesa, koja će na neki način morati da bude inkorporirana u svaki računarski sistem koji treba da ima opštu sposobnost medicinske konsultacije."

Swanson et al. [234], takodje navode osnovne odlike koje bi morali da zadovoljavaju sistemi namenjeni pružanju konsultativne pomoći u medicinskom odlučivanju. To su: 1) generativni skup osnovnih principa na osnovu kojih se zaključuje

o različitim oblicima manifestovanja bolesti; 2) hijerarhijsko predstavljanje bolesti i njihovih manifestacija i sposobnost eksperta da ovako predstavljeno znanje restruktuiru na način adekvatan problemu koji rešava; i 3) heuristike kojima savladava potrebu za obradom velikog broja informacija u dijagnostičkom procesu.

Szolowits i Pauker [238], smatraju da

"Medicinsko rasudjivanje, bilo lekara, bilo računarskog programa, mora da bude bazirano i na kategoričkom i na verovatnosnom rezonovanju. Predmet istraživanja u oblasti primene tehnika veštačke inteligencije u medicini je da nadju odgovarajuće načine da kombinuju ove oblike rezonovanja da bi načinili računarske programe koji pokazuju sposobnosti medicinskog eksperta."

Pople ide i dalje i u [180], probleme medicinske dijagnostike svrstava u grupu problema koji su u suštini "loše-strukturirani", "ill-structured" problemi. Tako ih naziva Simon, koji o procesu kojim se jedan problem prevodi iz "loše-strukturiranog" u "valjano-strukturiran" ("well-structured" problem, ili WSP), kaže, [216]:

"To dopušta optužbe da se "stvarna" aktivnost oko rešavanja problema odvija prilikom davanja strukture problemu, a ne kasnije, pošto je problem već formulisan kao WSP."

Podrška ovom stavu može se naći i u sada već klasičnom delu Newell-a i Simon-a, "Human Problem Solving", [157]. Oni , naime, ističu da najsloženiji i najteži deo zadatka u procesu rešavanja problema jeste upravo postavka samog problema, a ne ono što potom sleduje - njegovo rešavanje.

Sve ovo ukazuje na to da zadatak koji se postavlja pred sisteme za konsultativnu pomoć u medicinskoj dijagnostici i odlučivanju praktično podrazumeva i zadatak uspostavljanja strukture što adekvatnije problemu koji se rešava [90], [93], [94].

Izneti razlozi uticali su na to da je tokom nešto više od deset proteklih godina preduzeto nekoliko obimnih istraživanja koja su problemu medicinske dijagnostike i odlučivanja pristupila na kvalitativno nov način. Cilj ovih istraživanja bio je da primenom metoda i tehnika veštačke inteligencije u što većoj meri zadovolje specifične zahteve svojstvene procesu dijagnostikovanja i odlučivanja u pojedinim domenima medicine [189], [207], [209], [227]. Najznačajniji rezultati postignuti su u oblasti dijagnostike u internoj medicini [178], [179], [180], [181], dijagnostike i terapijskog odlučivanja kod bakterijskih infekcija [206], diferencijalne dijagnoze glaukoma [264], u vodjenju terapije digitalisom [210], i uzimanju anamneze [171].

Već i sam naziv "konsultativni" treba da ukaže na veću upućenost na korisnika i veću fleksibilnost koju poseduju ovi novi sistemi. Takodje i na to da namena ovih novih sistema nije samo da jednostavno odabiraju najverovatnije dijagnoze, već i da pruže podršku u toku većeg dela procesa rešavanja problema: prilikom prikupljanja informacija o pacijentu, dijagnostikovanja

bolesti, objašnjavanja rezonovanja i, eventualno, određivanja režima lečenja ([10], Vol.II, str.178).

3.1 POJAM I OSNOVNE METODE VEŠTAČKE INTELIGENCIJE

Mada termin veštačka inteligencija obuhvata različite motive i metode, može se reći da je ova oblast objedinjena zajedničkim ciljem: nastojanjem da se postigne da mašina, na nivou poredivom sa čovekom-ekspertom, može da obavlja zadatke za koje se smatralo da je neophodna ljudska inteligencija.

Konciznu definiciju veštačke inteligencije daje Newell, [151]:

"Veštačka inteligencija je naučna disciplina koja nastoji da shvati prirodu inteligentne akcije, i konstruiše sisteme sposobne za inteligentnu akciju."

Do sada je objavljen veći broj monografija koje daju dobar pregled oblasti veštačke inteligencije, kao i osnovnih tehnika i pravaca razvoja [10], [164], [165], [166], [269], [270]. Veštačka inteligencija otvorila je i mnoga filozofska pitanja i rasprave o svom mestu i ulozi [7], [67], [68], [130], [138], [142], [156], [201].

Svaki pristup rešavanju problema metodama veštačke inteligencije podrazumeva i neka osnovna opredeljenja u toku

rada.

Prvo opredeljenje odnosi se na problem predstavljanja znanja, odnosno na izbor informacione strukture koja će se upotrebiti u svrhu kodiranja elemenata problema i baze znanja koja se koristi pri rešavanju tog problema. Do sada je u veštačkoj inteligenciji razvijen veći broj osnovnih tehnika predstavljanja znanja, koje i pored svog opšteg karaktera odražavaju specifičnosti problema za čije su rešavanje prvobitno bile kreirane, [165,10].

Sledeće opredeljenje u bliskoj je vezi sa predstavljanjem znanja i tiče se specifikacije procesa, odnosno procedure donošenja odluke, ili rešavanja problema, kojom se manipuliše računarskim modelom problema kako bi se dobili željeni ishodi.

Medju osnovnim metodama za rešavanje problema u literaturi se pre svega navode pretraživanje prostora stanja i redukcija problema.

3.11 Pretraživanje prostora stanja

Primena tehnike pretraživanja prostora stanja podrazumeva predstavljanje problema na sledeći način:

- a) Početno stanje, S_p
- b) Stanje cilja, S_c
- c) Skup transformacija stanja $\{T_i\}$, čijom se primenom dobija naredno stanje za svako dato stanje S .

Proces rešavanja problema tada se sastoji u ispitivanju granajućeg prostora stanja koji se generiše izborom i primenom

transformacija: najpre na početno stanje, onda na izabrana naredna stanja, a zatim na izabrana naredna stanja ovih stanja, itd. Traganje za tzv. "putanjom rešenja" od početnog stanja do cilja naziva se heurističko pretraživanje, kada god postoji mogućnost za izbor transformacija koje bi odstupile od željene putanje. U takvim slučajevima neophodno je da se razvije odgovarajući režim upravljanja koji bi obezbedio da proces rešavanja problema na neki sistematski način ispita sva naredna stanja za svako generisano stanje. Jedno od zanimljivih i važnih pitanja koje se postavlja u vezi sa ovim je kako konstruisati takve režime upravljanja procesom rešavanja problema, koji bi bili "inteligentni" u smislu da proces pretraživanja najpre ispituje "najbolje" alternative. Veliki deo osnovnih istraživanja u veštačkoj inteligenciji posvećen je upravo ovom problemu ([10], Vol.I, str.30-31), [176]. Do sada je najkompletniju obradu ovog problema dao Nilsson, [165].

Nažalost, sama metodologija pretraživanja teško može neposredno da se primeni na probleme medicinskog odlučivanja. Ako bismo, na primer, interpretirali početno stanje - kao bolesnog pacijenta, konačno stanje - kao zdravog, a transformacije, pod čijim uticajem pacijent prelazi iz jednog stanja u drugo - raznim lekovima, terapijskim ili hirurškim procedurama, itd., može izgledati da bi se jednostavnom primenom metode pretraživanja moglo doći do željene putanje rešenja. Medjutim, ovde postoje bar dve značajne prepreke. Prva je što početno stanje, tj. bolest pacijenta retko unapred znamo sa sigurnošću. Drugo, nije sigurno da će primena određene transformacije, tj. lečenja, "prevesti" pacijenta u stanje koje mi očekujemo.

Uopšte, u pogledu složenosti procesa odlučivanja, problemi odredjivanja terapije kada je poznata dijagnoza, i pored upravo navedene primedbe, smatraju se jasnije definisanim, pa dakle i jednostavnijim. Otuda je i pažnja istraživača u znatno većoj meri usmerena na konstrukciju sistema koji bi pomogli u donošenju tačne dijagnoze, što je početna pretpostavka efikasnog lečenja pacijenta.

3.12 Redukcija problema

Formulacija problema u obliku prikladnom za primenu metoda za redukciju problema sadrži sledeće elemente:

- a) Stav kojim se precizira cilj koji treba postići
- b) Skup "datih" podataka: pretpostavki, ili premisa, za koje se a priori pretpostavlja da su tačne
- c) Skup operatora redukcije (ili tzv. produkcionih pravila) koji se koriste da transformišu ciljeve u konjunktivnu listu podciljeva.

Za svaki cilj ili podcilj koji direktno odgovara jednoj od premisa (kategorija b) kaže se da je "zadovoljen po pretpostavci" u datom kontekstu. Ostali ciljevi mogu se izvesti dedukcijom - tj. može se zaključiti da su zadovoljeni - kada god postoji neki operator redukcije (kategorija c) čijom se primenom na odredjeni cilj generiše skup podciljeva, za koje se sve može pokazati da su zadovoljeni.

Produkciona pravila, ili kako se još nazivaju, AKO-ONDA pravila, u znatnoj meri se koriste prilikom izgradnje većeg broja

sistema za podršku u medicinskom odlučivanju, i njihovu primenu ilustrovaćemo u daljem tekstu, [3].

3.2 KONSULTATIVNI EKSPERTNI SISTEMI

Već i sama priroda problema kojima se veštačka inteligencija kao naučna disciplina bavi, izazvala je interesovanje ne samo istraživača u oblasti nauke o računarstvu, i njoj bliskim prirodnim i tehničkim naukama, već i istraživača u oblasti psihologije, saznavnih (kognitivnih) procesa, filozofije, lingvistike i drugih. Jedno od osnovnih saznanja do koga su i jedni i drugi nezavisno došli u svojim istraživanjima, je da suštinu inteligencije ne čini samo moćan logički aparat, kojim se na osnovu relativno malog broja osnovnih postavki (aksioma) i pravila zaključivanja mogu izvesti svi (ili većina) stavova o svetu koji nas okružuje, već da je neophodna komponenta svake inteligentne akcije - znanje.

Uloga znanja utoliko je značajnija ukoliko je priroda problema koji treba rešiti složenija. U toku poslednjih petnaestak godina više osnovnih tehnika veštačke inteligencije, od kojih su neke upravo opisane, primenjeno je na rešavanje složenih problema iz specifičnih domena nauke, medicine, inženjerstva, obrazovanja i drugih. Ovakvi sistemi bazirani na primeni računara, koji imaju za cilj da pruže pomoć pri rešavanju nabrojanih problema iz stvarnosti, dobili su naziv ekspertni sistemi. Ono što u najvećoj meri može da okarakterise ekspertne

sisteme je da oni koriste velike celine znanja o domenu za koji su namenjeni. Ovo znanje prikupljeno je od ljudi-eksperata u odgovarajućim domenima i sastoji se od činjenica i procedura koje su se pokazale korisnim za rešavanje problema tipičnih za taj domen.

Krajem 50-tih i početkom 60-tih godina razvijeno je više sistema veštačke inteligencije, poput Logic Theorist-a [159], [162], GPS-a [160], [161], i PLANER-a [233], koji su bili namenjeni rečavanju problema u jednostavnim ograničenim domenima, kao što su šah, planiranje u robotici, manipulacija kockama, ili problemima kao što su "hanojska kula" i slični. Medjutim, desetak godina kasnije dolazi do razvoja prvih ekspertnih sistema koji su bili namenjeni rešavanju problema iz "stvarnosti". Prvi takvi sistemi konstruisani su da pruže pomoć pri analizi u organskoj hemiji - DENDRAL, na Univerzitetu u Stanfordu [27], pri simboličkoj integraciji - MACSYMA, na MIT-u [219], a potom u medicinskoj dijagnostici u intenoj medicini - DIALOG, na Univerzitetu u Pitsburgu [181], kod bakterijskih infekcija - MYCIN, na Univerzitetu u Stanfordu [206], zatim za geološka istraživanja - PROSPECTOR, na SRI [58], i u drugim oblastima.

Poslednjih godina došlo je do značajnog razvoja u oblasti ekspertnih sistema [11], [25], [28], [153], [154], [163], a objavljen je veći broj monografija, da navedemo samo neke: [4], [44], [57], [66], [86].

Sledeći problemi zahtevaju posebnu pažnju u postupku konstrukcije ekspertnih sistema.

A. Predstavljanje ekspertnog znanja. Specijalisti se razlikuju

od laika (ili, u medicini, od lekara opšte prakse) po tome što poseduju veliko specifično znanje koje su stekli u procesu obrazovanja, čitanjem stručne literature, a posebno iskustvom, rešavajući stotine, ili hiljade slučajeva u svojoj praksi. Ovo znanje može postojati u obliku činjenica o domenu, opštih i neposrednih kratkih pravila, ili procedura, globalnih strategija, raznih heuristika, teorije vezane za domen, i slično. Obzirom da su ekspertni sistemi zasnovani na upotrebi računara, pa dakle manipulišu i ispituju simbolički predstavljene probleme, sve ovo znanje mora na neki način biti predstavljeno u računaru [152], [158], [169].

Teoretski aspekti problema predstavljanja znanja predmet su obimnih proučavanja u veštačkoj inteligenciji [19], [141]. Među osnovne formalizme za predstavljanje znanja spadaju: okviri [228]; semantičke mreže [21]; produkciona pravila [45].

B. Rezonovanje o domenu. Priroda svakog konkretnog domena zahteva da se rezonovanje specifično za taj domen na adekvatan način predstavi u ekspertnom sistemu. U slučaju medicinske dijagnostike, radi se o kliničkom rezonovanju koje u pojedinim domenima medicine nosi specifična obeležja.

Sa formalne strane ispitane su i primenjene razne tehnike rezonovanja. Ograničenja svojstvena čisto deduktivnom rezonovanju, uticala su na to da se istraživanja usmere na alternativno, statističko i induktivno rezonovanje [30], [37], [38], [50], [51], [134], [251]. Nemonotono rezonovanje, koje je relativno skoro formalizovano kao nemonotona logika, predstavlja ekstenziju deduktivnog rezonovanja koje je poslednjih godina

privuklo dosta pažnje [18], [77], [78], [127], [131], [132].

C. Transfer ekspertnog znanja. U tesnoj vezi sa prethodnim je i problem transfera ekspertnog znanja. Sistematizovanost znanja o odredjenom domenu u mnogome zavisi od njegove prirode, pa je tako, za razliku od simboličke integracije, za domen medicinske dijagnostike mnogo teže da ekspert na sistematski način formuliše sve neophodno znanje koje poseduje. Tako su eksperti, po pravilu, spremniji da "pričaju" o tome kako rešavaju problem iz svog domena, nego da eksplicitno formulišu svoje znanje. Medjutim, uloženi napor da se ekspertovo znanje sistematski eksplicira, odnosno kodira, predstavlja veoma značajan momenat u razvoju ekspertnog sistema. Na taj način se dobija novi uvid u strukturu domena, obično se i samim ekspertima u novom svetlu pokaže problematika domena, ili se razviju nove ideje kako bi se ta problematika na organizovaniji način mogla da izloži.

Sa druge strane, budući da su ljudi i izvor i eventualni budući korisnici ekspertnog znanja, potrebno je pri konstruisanju ekspertnih sistema omogućiti da oni budu u stanju da na prikladan način prihvate ekspertno znanje. Naime, da bi ekspertni sistemi bili zaista prihvaćeni od strane onih kojima su namenjeni, nije dovoljno da samo rešavaju probleme iz svog domena, već i da na dovoljno "inteligentan" način komuniciraju sa korisnikom [234], ([10], Vol.II:VII;VIII;IX). U ovom slučaju to znači da prihvataju ekspertovo znanje o domenu i dopunjuju ga na način na koji i on to čini - čitanjem, postavljanjem pitanja, učenjem iz iskustva.

D. Sposobnost objašnjavanja i transparentnost znanja. Jedan

drugi vid komunikacije sa korisnikom, u tesnoj vezi sa upravo pomenutim, je sposobnost ekspertnog sistema da "objašnjava svoje rezonovanje" o domenu. Naravno, s tim u vezi postavlja se i pitanje transparentnosti znanja, odnosno, da li je metodologija kojom se sistem koristi pri rešavanju problema u konkretnom domenu ista kao i ona kojom se služe ljudi, ili se od nje razlikuje. Ovo pitanje predmet je razmatranja još od prvih radova u oblasti veštačke inteligencije i računarstva uopšte, [247], mnogih kritika [56], i proučavanja sa aspekta veštačke inteligencije, a posebno nauke o saznanju [111], [212], [213], [214].

Dakle, veoma poželjna karakteristika ekspertnog sistema uopšte, a u oblasti medicinske dijagnostike posebno, je njegova sposobnost da objasni i opravda svoje rezonovanje. Upravo navedene sposobnosti opravdavaju i pridev "konsultativan", koji sistemi sa takvim mogućnostima nose.

E. Evaluacija. Kao što se proveravaju efekti raznih lekova ili postupaka koji se primenjuju na pacijente, mora se ocenjivati i preciznost, korisnost i pouzdanost konsultativnih ekspertnih sistema [46], [119].

* * *

Prilikom konstruisanja ekspertnih sistema razni autori prilazili su navedenim problemima sa različitih aspekata. Pri tom su ne samo koristili razna osnovna orudja i metode veštačke inteligencije, već često razvijali i nove, za potrebe konkretnih

ekspertnih sistema. U vezi s tim postavlja se i pitanje izbora programskih jezika i adekvatnosti pojedinih njihovih osobina, kao nosioca svih ovih informacionih struktura [20], [124], [125], [126], [192], [257]. Tako se od sistema do sistema bitno razlikuje način na koji su rešavani pomenuti problemi, ne samo kada su ekspertni sistemi namenjeni rešavanju problema u različitim domenima, već i u sličnim, ili istom domenu. U kratkom pregledu koji sledi biće prikazani vodeći ekspertni sistemi u oblasti medicinske dijagnostike, kao i različiti pristupi i metodologije kojima se oni koriste.

3.21 MYCIN

Sistem MYCIN [206], namenjen je za pružanje konsultativne pomoći u dijagnostici i terapiji kod bakterijskih infekcija. Sa medicinskog stanovišta motivacija za izradu ovakvog sistema sastoji se u tome što se infekcije često javljaju kao sekundarni problem, na primer posle većih hirurških intervencija, pa dakle predstavljaju problem lekarima čija specijalnost nije infektologija. Značajno je i to da se prve odluke u pogledu terapije moraju doneti u uslovima u kojima nije dostupna potpuna informacija, obzirom da je za odgajanje bakterijske kulture iz uzorka potrebno relativno dugo vreme, koje nekada prelazi i 48 časova.

A. Predstavljanje znanja. Medicinsko znanje predstavljeno je u MYCIN-u u obliku produkcionih pravila. Svako pravilo predstavlja

odredjenu informaciju o domenu i sastoji se od premise (AKO...) i akcije, odnosno zaključka (TADA...), do čega dolazi ako su uslovi navedeni u premisi ispunjeni. U Primeru 3.1 dato je tipično pravilo MYCIN-ove baze znanja.

PRAVILO 50

AKO 1. Infekcija je primarna bakteremija, i
 2. Podloga kulture je jedna od sterilnih podloga, i
 3. Suspektno mesto ulaska organizma je
 gastrointestinalni trakt,

TADA Postoji značajna evidencija (.7)
 da je identitet organizma bacteroides

Primer 3.1

Baza znanja MYCIN-a sadrži oko 450 ovakvih pravila ([10], Vol.II:85), koja omogućuju da sistem postavlja dijagnozu i sugerise terapiju kod bakteremije i meningitisa.

Premisa svakog iskaza je Bulova kombinacija jednog ili više iskaza koji se sastoje od predikatske funkcije sa tri argumenta: objekat, atribut i vrednost. Premise su uvek konjunkcije iskaza, mada svaki iskaz može biti složen od proizvoljnog broja konjunkcija i disjunkcija.

Kao što je već rečeno, svako pravilo sastoji se od predikatske funkcije, a ova je element standardnog skupa funkcija, nezavisnih od domena (na primer, ISTI, POZNAT, ODREDJEN), i za domen specifičnih atributa (na pr. IDENTITET, PODLOGA), objekata (na pr. ORGANIZAM, KULTURA) i pridruženih

vrednosti (na pr. E.COLLI, KRV), koji svi zajedno čine rečnik konceptualnih osnovnih pojmova od kojih se konstruišu pravila. Na taj način pravilo obuhvata koncepte svojstvene domenu u obliku stava koji predstavlja određeno znanje o domenu. Obzirom da je sisitem napisan u LISP-u, program svako pravilo ne samo ispituje, već i izvršava, [13], [128], [129].

B. Rezonovanje o domenu. Svaki stav u MYCIN-u, odnosno zaključak izveden na osnovu pravila, kvantifikovan je tzv. faktorom izvesnosti (certainty factor), koji uzima vrednosti iz intervala $[-1,1]$, (pri čemu -1 označava da je stav izvesno netačan, a 1 da je izvesno tačan). Ovi se faktori po određenom pravilu kombinuju i na taj način omogućuju dalje kvantifikovanje informacije koja propagira kroz sistem. U MYCIN-u se koristi faktor izvesnosti, a ne neka od standardnih statističkih procedura, jer autori smatraju da je ovaj način rezonovanja znatno bliži onome kojim se služe kliničari.

Rezonovanje MYCIN-a odvija se tako što se vrši povezivanje pravila unazad (backward chaining). Pri tom se pretraživanje vrši najpre u dubinu. Naime, da bi se ustanovilo da li su uslovi u premisi jednog pravila zadovoljeni, ispituje se drugo pravilo čiji zaključak predstavlja odgovor na to pitanje. U slučaju da ovakvo drugo pravilo ne postoji, ili faktor izvesnosti njegovog zaključka ima vrednost između -0.2 i 0.2 (što je empirijski određen prag), smatra se da je odgovor nepoznat, a sistem se obraća korisniku da on odredi vrednost ovog podcilja.

Izbor terapije kod MYCIN-a [33], je u priličnoj meri izravna funkcija koja se oslanja na dijagnozu i vrši izbor lekova

iz liste u kojoj su oni rangirani prema stepenu osetljivosti. Ovaj deo sistema može takodje da preporučuje doziranje lekova.

C. Transfer ekspertnog znanja. Da bi se omogućilo ekspertu da unosi ili modifikuje pravila, ili kliničke parametre, kako bi proširio i uneo eventualne ispravke u MYCIN-ovu bazu znanja, konstruisan je poseban sistem, TEIRESIAS [41], [42]. Ovaj sistem funkcioniše u sprezi sa MYCIN-om, ali je u suštini i on sam ekspertni sistem koji znanje na meta nivou primenjuje u svrhu konstruisanja, održavanja i korišćenja velikih baza znanja.

D. Sposobnost objašnjavanja i transparentnost znanja. Pravila, koja su interno kodirana u LISP-u, sistem može da formuliše na engleskom jeziku, u formi prikazanoj u Primeru 3.1. Ovo se koristi kako bi sistem mogao ekspertu da "objasni" svoj proces zaključivanja, izlažući pravila koja su korišćena u toku tog procesa.

Mada su medicinski koncepti kojima se MYCIN koristi bliski većini kliničara, autori sistema ne pretenduju na to da je iscrpno pretraživanje najpre u dubinu (depth first search) i povezivanje pravila unazad (backward chaining) proces sličan onom kojim se koriste lekari.

E. Evaluacija. Evaluacija MYCIN-a u više prilika je pokazala njegove dobre karakteristike u poredjenju sa ekspertima infektolozima u pogledu dijagnostike i izbora terapije za pacijente koji pate od bakteremije i meningitisa, [273], [274]. Međutim, MYCIN do sada nije ušao u kliničku upotrebu,

prvenstveno zato što njegova baza znanja ne obuhvata ceo spektar infektivnih bolesti.

Kao jedan od prvih konsultativnih ekspertnih sistema, MYCIN je stekao veliku popularnost medju istraživačima u oblasti veštačke inteligencije. Kao njegov "naslednik" konstruisan je sistem EMYCIN [250], koji poseduje istu upravljačku strukturu kao MYCIN, ali bez baze znanja o infektivnim bolestima ("Empty MYCIN", ili "Essential MYCIN"). EMYCIN je uspešno primenjen u razvoju nekoliko drugih konsultativnih ekspertnih sistema u raznim drugim domenima medicine, HEADMED [87], ONCOCIN [208], PUFF [106], pa i van nje, na primer u inženjerstvu: SACON [15] i AL/X [191], obrazovanju NEOMYCIN [32].

3.22 INTERNIST/CADUCEUS

INTERNIST je konsultativni sistem čiji je domen, kako se i iz naziva vidi, široka oblast interne medicine. Rezultat je višegodišnjeg zajedničkog istraživačkog rada H. Pople-a, stručnjaka u oblasti računarstva i J. Myers-a, eksperta interniste. Prvobitni naziv ovoga sistema bio je DIALOG (DIAGnostic LOGic), [181].

A. Predstavljanje znanja. Baza znanja u INTERNIST-u organizovana je kao taksonomija, u kojoj se koristi relacija "oblik" ("form off"). Tako je na primer, hepatocelularna bolest

oblik bolesti jetre. U prvom nivou klasifikacija je izvršena prema organima - bolest srca, bolest pluća, bolest jetre, itd. Sledeći nivoi predstavljaju razradu prethodnih, dok se konačno u poslednjim nivoima ne dodje do individualnih bolesti. Ovakva hijerarhija bolesti koja ima oblik drveta je unapred odredjena i fiksna u sistemu. Svakoju bolesti u ovoj hijerarhiji (čvoru iz koga se drvo račva) pridruženo je više raznih atributa koji odražavaju uzročnu, vremensku, ili neku drugu vezu medju bolestima. Posebno važne su veze bolesti sa relevantnim manifestacijama. Manifestacija može da "izazove" ("evoke") bolest, a bolest se "manifestuje" odredjenim simptomom, znakom itd. Snaga ovih veza izražena je brojem od 0 do 5, gde 0 znači da se o vezi ne može ništa zaključiti, dok 5 znači da je manifestacija uvek u vezi sa tom bolešću. Manifestacijama su pridružene još neke relacije koje odražavaju osobine od interesa (kao što su "tip" i "važnost" manifestacije), ili činjenicu da se jedna manifestacija može izvesti iz druge.

B. Rezonovanje o domenu. Strategija formiranja problema kod INTERNIST-a ima zadatak da načini disjunktну partciju skupa entiteta bolesti (individualnih bolesti u poslednjim nivoima) koje su "izazvane" uočenim manifestacijama. "Problem" u ovom smislu označava kolekciju entiteta bolesti od kojih jedna i samo jedna može doći u obzir u razmatranom slučaju. INTERNIST tada (sekvencijalno) razmatra jedan po jedan problem, koristeći pritom sve dotle prikupljene činjenice.

U procesu konsultacije, na osnovu uočenih manifestacija formira se lista "izazvanih" bolesti, rangirana prema skorovima.

Sistem tada pristupa formulaciji problema primenjujući sledeću heuristiku: dva entiteta bolesti su alternativna jedna drugom ako zajedno mogu da "objasne" više uočenih manifestacija nego svaka pojedinačno. Skup ovakvih alternativa, čiji su skorovi dovoljno bliski skor u vodeće bolesti na listi, čine zajedno problem kojim će se sistem baviti.

INTERNIST tada odabira pitanja koja će imati najveću moć diskriminacije među entitetima problemskog skupa, i na osnovu odgovora ponovo evaluira sve "izazvane" bolesti. Postupak se ponavlja, s tim što se u narednoj iteraciji sistem može baviti i nekim drugim, ali uvek samo jednim problemom.

Kada god je jedan problem rešen, sistem ga unosi u listu zaključenih dijagnoza, a njima "objašnjene" manifestacije markira. Proces se nastavlja dok svi prisutni problemi ne budu rešeni.

Iako su dijagnoze INTERNIST-a u velikoj većini slučajeva bile tačne, u nekim složenim slučajevima u početnoj fazi sistem je nepotrebno gubio vreme razmatrajući manje važne probleme. Ova osobina pripisuje se sekvencijalnoj obradi problema, pa je uveden princip "stezača" ("constrictor"). Ovaj princip primenjen je u konstrukciji INTERNIST-II sistema (koji je nazvan i novim imenom CADUCEUS, [180]).

CADUCEUS ima praktično istu bazu znanja kao i INTERNIST, a "stezač" ima zadatak da omogući da sistem više problema može da razmatra jednovremeno. "Stezači" su zapravo manifestacije koje se vezuju za bolesti na višem nivou u hijerarhiji, dakle zajedničke su za čitavu grupu entiteta bolesti (odnosno granu drveta). CADUCEUS, dakle, ne počinje dijagnostički proces formiranjem

liste entiteta bolesti koje su "izazvane" (jer bi njihov broj mogao biti enorman) već grupa bolesti koje zajedno mogu da objasne sve prisutne manifestacije. Konjunkcija svih grupa bolesti (koje su izazvale manifestacije "stezači", prisutne kod pacijenta) naziva se "korenskom strukturom" ("root structure"). Problem donošenja dijagnoze se sada sastoji u tome da se pronadje "korenska struktura" koja će najbolje objasniti sve prisutne manifestacije. CADUCEUS to postiže korišćenjem manifestacija koje sukcesivno dele korensku strukturu na sve manje particije, sve dok se ne stigne do poslednjeg nivoa - entiteta bolesti koje mogu da objasne sve manifestacije.

C. Transfer ekspertnog znanja. Da bi se u sistem (kako INTERNIST, tako i CADUCEUS) prenelo ekspertno znanje, neophodno je posredstvo programera. Inače, sistemi su razvijeni na programskom jeziku INTERLISP [249], [241], jednoj od verzija LISP-a.

D. Sposobnost objašnjavanja i transparentnost znanja. Ni INTERNIST ni CADUCEUS nemaju sposobnost objašnjavanja svog rezonovanja na način na koji to može MYCIN. Međutim, kod ovih sistema ističe se transparentnost znanja i procesa rezonovanja, tj. njihova sličnost sa onim kojim se koriste lekari. Takođe, sistemi su u stanju da sumiraju tok konsultacije prikazivanjem hipoteza i njihovih skorova.

E. Evaluacija. Veoma obimne evaluacije INTERNIST-a i CADUCEUS-a pokazale su njihove visoke dijagnostičke kvalitete [139].

CADUCEUS poseduje znanje o preko 600 internih oboljenja (preko 75 odsto kompletno opisanih), sa preko 3500 manifestacija, što ga čini najobimnijim konsultativnim ekspertnim sistemom u medicini. Autori očekuju da će sistem ući u kliničku upotrebu.

3.23 CASNET

Ovaj sistem razvili su Weiss i Kulikowski sa saradnicima na Univerzitetu Rutgers [264]. Osnovna primena CASNET-a (Causal Association Network) je u dijagnostici glaukoma.

A. Predstavljanje znanja. CASNET modeluje skup medjusobno zavisnih bolesti preko "uzročne mreže" ("causal network") i pritom koristi dve vrste pravila: ona koja vode od manifestacija ka bolestima i ona koja vode od bolesti ka manifestacijama. Znanje o medicinskom domenu predstavljeno je u tri "ravni".

U ravni patofizioloških stanja, ili "devijantnih stanja", predstavljene su osnovne hipoteze o procesu bolesti i uzročne veze medju njima. Uz to, svaka od ovih veza ima pridružen i faktor pouzdanosti (izmedju 1 i 5), koji odražava učestanost sa kojom pojedini uzrok proizvodi odredjeni efekt (Primer 3.2)

povišen intraokularni pritisak -- 3 --> oštećenje optičkog nerva
oštećenje optičkog nerva -- 4 --> gubitak vida

Ovo je centralna ravan i nalazi se između dveju drugih ravni: ravni bolesti, ili "početnih stanja", i ravni konačnih efekata, ili "konačnih stanja".

Razlog za ovakav način predstavljanja ima opravdanja u tome što se entiteti bolesti često manifestuju na taj način što uzrokuju poremećaje fizioloških procesa, koji se mogu lakše identifikovati nego sam proces bolesti.

Čvorovi u ravni posmatranja predstavljaju razne manifestacije koje se mogu uočiti kod pacijenta i povezani su sa čvorovima u ravni patofizioloških stanja vezama koje su takođe kvantifikovane faktorima pouzdanosti. Konstruktori CASNET-a unapred su odredili ove faktore pouzdanosti. Konačna stanja imaju obično pridružen jedan ili više testova. Rezultati testova koriste se pri formiranju "statusa" odgovarajućeg stanja. Status može biti "potvrđen", ili "negiran", zavisno od izračunate pouzdanosti koja odgovara tom stanju.

Ravan bolesti sadrži "klasifikacione tabele" kojima se za svaku bolest definiše skup potvrđenih, ili negiranih patofizioloških stanja. Ova ravan takođe sadrži skupove terapijskih postupaka, pridružene svakoj pojedinoj bolesti.

B. Rezonovanje o domenu. Pošto se unesu početni podaci o pacijentu, proces zaključivanja kod CASNET-a sastoji se od traženja onih patoloških stanja koja kao najverovatnija treba da budu potvrđena. Izbor najverovatnijih stanja rezultat je kombinovane mere koja odražava kako postojanje potvrđenih uzroka, tako i potvrđenih efekata ovog stanja. Pošto se izvedu odgovarajući testovi, ove mere se ažuriraju kako bi odrazile

ukupnu dobijenu informaciju. Stanja se ponovo rangiraju i odabiraju se novi relevantni testovi i tako se proces ponavlja. Kada se svi relevantni (i ne-redundantni) testovi primene, proces se završava, a konačna konfiguracija modela se koristi da bi se izradila hipoteza bolesti. Konačni cilj je da se, ako je moguće, identifikuje početno stanje (bolest), koje preko uzročnih putanja obuhvata sva potvrđena patološka stanja u mreži.

C. Transfer ekspertnog znanja. CASNET ne omogućava transfer ekspertnog znanja neposredno medicinskom ekspertu, već je to zadatak koji moraju da obave konstruktori sistema.

D. Sposobnost objašnjavanja i transparentnost znanja. Takođe, CASNET nema mogućnost objašnjavanja svog procesa rezonovanja, već izlaže, na kraju konsultacije, statusne mere stanja u uzročnoj mreži. Međutim, način na koji je predstavljeno znanje u sistemu, kao što je opisano, u velikoj meri je blizak medicinskim ekspertima.

E. Evaluacija. CASNET-ov model za dijagnozu glaukoma sadrži oko 150 stanja, 350 testova i 50 tabela za klasifikaciju ([10], Vol.II:196). Oftalmolozi koji su evaluirali sistem, smatraju da su njegove dijagnostičke sposobnosti bliske nivou eksperta.

3.24 PIP

PIP(Present Illness Program) razvijen je na MIT-u (Pauker et al. [171], Szolovits i Pauker [237], [238]). Prvobitna verzija sistema bila je napisana na jeziku CONNIVER [232], [233], ali je sistem kasnije preveden na MACLISP, verziju LISP-a. Sistem je do sada primenjen za uzimanje anamneze kod pacijenata sa bolestima bubrega. Proces uzimanja anamneze razlikuje se od dijagnostičkog procesa utoliko što predstavlja tipičnu konsultaciju pacijenta sa lekarom opšte prakse, pa dakle isključuje skupe i rizične testove koji su neophodni za potpunu dijagnozu.

A. Medicinsko znanje u PIP-u predstavljeno je u obliku mreže "okvira" (frames) koji su formirani oko pojedinih bolesti, kliničkih stanja, i fizioloških stanja, koja se nazivaju "situacijom pacijenta". Okviri sadrže podatke o tipičnim nalazima, odnosima prema drugim situacijama pacijenta i pravila na osnovu kojih se odlučuje u kojoj meri nalazi kod konkretnog pacijenta odgovaraju situaciji opisanoj tim okvirom. Neki od tipičnih nalaza imaju poseban status "okidača" (trigger) i predstavljaju ključne elemente za strategiju odlučivanja.

"Logički kriterijumi odlučivanja" su pravila koja omogućuju da se jedna hipoteza potvrdi ili odbaci na osnovu malog broja ključnih nalaza.

Odnosi izmedju okvira odražavaju odnose koji postoje medju odgovarajućim bolestima (stanjima) u medicini. Moguće je da je jedna bolest uzrok ili komplikacija druge. Takodje, dve bolesti mogu biti komplementarne, ili zajedno činiti

diferencijanu dijagnozu.

B. Strategija kliničkog rezonovanja kod PIP-a zasniva se na kombinaciji kategoričkog i verovatnosnog načina rezonovanja pri manipulisanju hipotezama i nalazima. Obzirom da jedan nalaz može biti značajan za više okvira, znanje o nalazima smešteno je u sistemu van okvira. Hipoteza u stvari predstavlja jedan okvir i može biti potvrđena, aktivna i poluaktivna. Potvrđena je ona hipoteza čiji je skor viši od određenog praga. Aktivna hipoteza je ona koja ima bar jedan potvrđeni okidač, a poluaktivni su njeni neposredni susedi u sistemu okvira.

Konsultacija počinje tako što lekar unosi u sistem glavne simptome i znake prisutne kod pacijenta. Sistem preuzima inicijativu nastojeći da ustanovi valjanost svake od aktivnih hipoteza postavljanjem odgovarajućih pitanja, i ponavljanjem ciklusa u kome se novi nalaz dobija, obradjuje, ažurira listu aktivnih hipoteza i izabira novo pitanje (nalaz).

Ako logički kriterijumi odlučivanja nisu dovoljni da bi se potvrdila ili oborila jedna hipoteza, izračunava se skor hipoteze tako što se kombinuje vrednost funkcije koja izražava meru u kojoj nalazi pacijenta "odgovaraju" okviru, i vrednost funkcije koja predstavlja odnos broja objašnjenih nalaza prema ukupnom broju nalaza.

C. PIP ne omogućava neposredan transfer znanja medicinskom ekspertu.

D. Takodje, PIP ne može da objašnjava svoj proces rezonovanja,

ali je kao i INTERNIST (a za razliku od MYCIN-a) u velikoj meri transparentan, odnosno simulira kliničko rezonovanje lekara.

E. Neke od poteškoća kod primene PIP-a sastoje se u tome što previše često dolazi do promene najverovatnije hipoteze koju nastoji da potvrdi, kao i u tome što nastavlja sa postavljanjem pitanja dok ne iscrpi sva pitanja o svim mogućim relevantnim hipotezama.

3.25 EXPERT

EXPERT je sistem razvijen na Univerzitetu Rutgers [261] za pružanje opšte pomoći istraživačima u izradi i testiranju konsultativnih sistema, a zasnovan je na ranijim istraživanjima na sistemu CASNET [264], [262]. Mada nezavisan od domena, sistem je nastao kao rezultat rada na konsultativnim sistemima u oblasti oftalmologije, reumatologije i endokrinologije. Eksperimentalni sistemi razvijeni su i u drugim domenima, na primer, hemiji, ispitivanju naftnih bušotina, interpretaciji laboratorijskih instrumenata [263] i za popravku automobila.. Za razliku od većine drugih sistema koji primenjuju metode veštačke inteligencije, EXPERT je napisan na programskom jeziku FORTRAN, što omogućuje njegovu veću prenosivost.

A. Predstavljanje znanja. Znanje je u sistemu EXPERT predstavljeno u obliku nalaza, hipoteza i pravila odlučivanja. Nalazi se sastoje od istorije, simptoma, znakova i rezultata

laboratorijskih ispitivanja, a sistemu se mogu saopštiti odgovorom tačan, netačan, nedostupan, ili u numeričkom obliku. Hipoteze su zaključci koje može da donese sistem, i uključuju dijagnostičke i prognostičke kategorije odlučivanja. Obično im je pridružena i mera neizvesnosti. Osnovne hipoteze strukturirane su prema taksonomskoj klasifikacionoj šemi. Postoje tri vrste pravila kojima se opisuju logičke veze između nalaza i hipoteza: FF (pravila nalaz-nalaz); FH (pravila nalaz-hipoteza) i HH (pravila hipoteza-hipoteza).

FF pravila specificuju istinosnu vrednost nalaza o kojoj se može zaključiti na osnovu već ustanovljene vrednosti nekog drugog nalaza. FH pravila su logičke kombinacije nalaza na osnovu kojih se može potvrditi ili oboriti neka hipoteza. Pritom se odgovarajućoj hipotezi pridružuje i mera poverenja, CF. HH pravila omogućuju da se preciziraju veze među različitim hipotezama, pri čemu u premisi mogu figurisati i nalazi. Obzirom da sva pravila EXPERT izvršava prema unapred zadatom redosledu, ekspert-tvorac modela mora da vodi računa da specificirani redosled uvek ima smisla.

B. Rezonovanje o domenu. Kada se podatak o nekom nalazu prenese sistemu, izvršavaju se ona pravila koja sadrže taj nalaz u premisi i to sledećim redosledom: FF, FH, pa HH pravila.

Kao rezultat ove procedure dobijaju se i mere poverenja CF, direktno na osnovu nalaza (FH pravila), ili propagacijom ovih mera (HH pravila). Vodi se i evidencija o broju pravila koja se primenjuju na određenu hipotezu.

Takodje, na osnovu taksonomije i uzročne mreže (po ugledu

na CASNET), izveden je još jedan skup težinskih faktora čijom se propagacijom kroz mrežu dobija mera poverenja.

Najzad se konačna težina izvodi na osnovu obe ove mere poverenja. Pri tom se uzima maksimalna apsolutna vrednost (sa odgovarajućim znakom) svih mera poverenja koje su dobijene za tu hipotezu.

C. Transfer ekspertnog znanja. EXPERT omogućava korisnicima da prilikom gradjenja modela neposredno unose pravila koja se na taj model odnose.

D. Sposobnost objašnjavanja i transparentnost znanja. Sistem EXPERT u stanju je da objašnjava svoje rezonovanje korisniku, mada se ono u nekoj meri razlikuje od rezonovanja kojim se služe kliničari.

E. Evaluacija. Nekoliko primena sistema EXPERT su u toku u oblasti endokrinologije (bolesti tiroidne žlezde), oftalmologiji i reumatologiji [115], u kojoj je modelom obuhvaćeno manje od 10 važnih bolesti ([10], Vol.II:222).

Poslednjih godina došlo je do vidnog napretka u oblasti konsultativnih ekspertnih sistema [227], [105], i konstruisano je više takvih sistema primenjenih u raznim domenima medicine: IRIS [244], [245]; PUFF [106]; HODGKINS [197]; HEADMED [87]; VM [61]; RX [17]; SPHINKS [65]; MESC-AI [104]; [100]; i drugi.

Radovi na prvim konsultativnim ekspertnim sistemima u

oblasti medicinske dijagnostike, a i inače, javili su se kod nas početkom 80-tih godina u Centru za multidisciplinarne studije Univerziteta u Beogradu [225], i u Institutu "Jožef Stefan" u Ljubljani [102], [150].

U daljem tekstu biće detaljno prikazan konsultativni ekspertni sistem, kasnije nazvan BELART, koji je razvio autor u Centru za multidisciplinarne studije Univerziteta u Beogradu.

4.0 KONSULTATIVNI EKSPERTNI SISTEM BELART

Već i sam pridev "konsultativni", koji je obično pridružen savremenim ekspertnim sistemima treba da ukaže na veću upućenost na korisnika i veću fleksibilnost ovakvih sistema. Takodje, i na to da namena ovih sistema nije samo da jednostavno odabiraju najverovatniju dijagnozu, već i da pruže podršku u toku znatnog dela procesa rešavanja problema: prilikom prikupljanja informacija o pacijentu, dijagnostikovanja bolesti, pružanja objašnjenja i, eventualno, odredjivanja režima lečenja ([10], Vol.II:178), [46].

Jedno od suštinskih ograničenja nameće sama priroda današnjih računara, kao sredstava za rešavanje simbolički predstavljenih problema, [169], [152]. Ovo ograničenje ogleda se u nemogućnosti računara da u toku ispitivanja ima i fizički kontakt sa pacijentom, što je od izuzetnog značaja za lekara dijagnostičara. Uloga računara, dakle, može se shvatiti kao "udaljenog" konsultanta kome lekar iz prakse, koji je u neposrednom kontaktu sa pacijentom, može da saopštava svoja zapažanja i od koga dobija instrukcije u pogledu daljih ispitivanja samo preko telefona, teleksa, ili neke slične veze.

I pored obimnih ispitivanja i veoma visokih ocena koje su neki od ovih sistema dobili, [139], [274], pri čemu su njihove dijagnostičke sposobnosti poredjene sa onima koje poseduju lekari-eksperti, do sada se u rutinskoj kliničkoj upotrebi nalazi

samo jedan takav sistem - PUFF, [106]. Razlozi za ovo su višestruki, a neki od njih izneti su na početku poglavlja 3. Interesantno je, međjutim, da je situacija sasvim drugačija kada su u pitanju klinički informacioni sistemi. Veliki broj ovakvih sistema nalazi se u rutinskoj upotrebi u mnogim klinikama i tu je naišao na veoma dobar prijem kod lekara i drugog osoblja koje se njima služi, a takodje, u mnogim slučajevima dao i sasvim odredjen pozitivan doprinos kvalitetu zdravstvene zaštite.

Veoma interesantan razvoj u ovoj oblasti predstavljaju informacioni sistemi kojima se postupno dodaju funkcije koje pružaju podršku u donošenju odluka, [194], [99], [190]. Tipičan predstavnik ovakvog sistema je sistem HELP, razvijen na Univerzitetu Utah [254]. Pored uobičajenih funkcija informacionog sistema, HELP daje upozorenja (alerts) lekarima i osoblju kada neka od funkcija (pulmonarna, EKG), ili neki od rezultata analiza (elektroliti, hematologija, nivoi lekova) nisu u granicama normale. Posebno, autori HELP-a planiraju da bi ovaj sistem mogao da se proširi tako što bi moćni ekspertni sistemi, kakav je CADUCEUS, bili inkorporirani u bazu znanja ovog sistema [34].

Konsultativni ekspertni sistem BELART, koji će u daljem tekstu biti prikazan, rezultat je višegodišnjeg istraživanja autora i Dr. Branka Limića, lekara specijaliste reumatologa, sa Instituta za reumatologiju u Beogradu. Prvobitni zadatak bio je da se konstruiše sistem koji bi lekarima mogao da pruži podršku u odlučivanju za jednu grupu reumatoloških oboljenja, tzv. seronegativnih artropatija [225].

U izgradnji sistema primenjene su metode veštačke

inteligencije, posebno za razvoj strategija kojima se kombinuje ekspertno znanje i podaci iz kliničke prakse [223]. (Otuda i naziv BELART, koji predstavlja donekle dvosmislenu kombinaciju sledećih komponenti: university of BELgrade ARTificial intelligence, odnosno ARThritis project.) Istraživanja su dala zadovoljavajuće rezultate [225], [114], [224], a takodje su dovela i do izrade konsultativnog ekspertnog sistema, nezavisnog od domena primene [226].

Sistem je konstruisan tako da omogućava medicinskom ekspertu da svoje znanje, specifično za uži domen specijalnosti, unese neposredno u obliku produkcionih pravila.

Takodje, u konsultativni sistem BELART ugrađeno je više originalnih heuristika kojima se modeluje rezonovanje karakteristično ne samo za dijagnostičko odlučivanje u okviru uske medicinske specijalnosti, već i rezonovanje svojstveno jednoj široj klasi problema vezanih za medicinsko odlučivanje.

Konkretni primeri kojima je tekst ilustrisan, uzeti su iz primene sistema u reumatologiji, obzirom da je ta primena do sada najobimnija i da je dala najbolje rezultate.

4.1 STRUKTURA SISTEMA

"Većina sistema veštačke inteligencije pravi manje ili više oštru razliku medju standardnim računskim komponentama - podacima, operacijama i upravljanjem. To znači da ako su ovi sistemi opisani na jednom odgovarajućem nivou, obično se može identifikovati centralni entitet koji bi mogao da se nazove 'globalna baza podataka', kojom se manipuliše pomoću valjano definisanih 'operacija' a sve pod kontrolom neke globalne 'strategije upravljanja'. Želimo da podvučemo značaj identifikacije odgovarajućeg

'nivoa' opisa; blizu nivoa mašinskog koda nestaje bilo kakva fina podela na pojedine komponente; na najvišem nivou, kompletan sistem veštačke inteligencije može se sastojati od više modula baza podataka/operacija/upravljanja, koji su u složenoj interakciji. Ono što želimo da istaknemo je da sistem koji se sastoji od razdvojenih komponenti baze podataka, operacija i upravljanja predstavlja metaforičan blok u izgradnji lucidnih opisa sistema veštačke inteligencije.", Nilsson [166], str.17.

Konsultativni sistem koncipiran je tako da u konačnoj verziji bude moguća njegova klinička primena. Otuda se pri konstruisanju sistema nastojalo da njegova struktura u što većoj meri bude prilagodjena prirodi problema, odnosno informacionim tokovima i potrebama lekara u kliničkoj praksi.

Struktura sistema BELART sastoji se od više osnovnih komponenti i prikazana je na Slici 4.1.

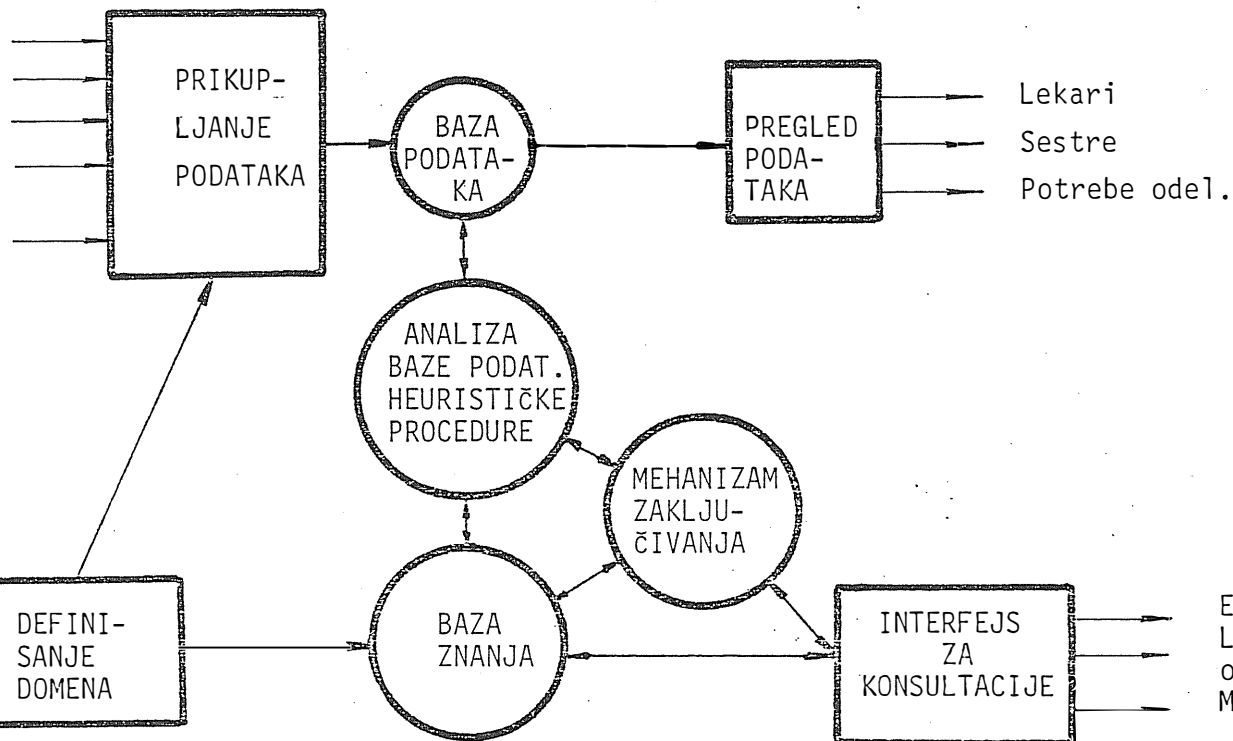
Definisanje domena

Ova komponenta konsultativnog sistema predstavlja mesto prvog logičkog kontakta korisnika sa sistemom. Tom prilikom ekspert identifikuje domen za koji se gradi konsultativni sistem i definiše ga odabirajući parametre relevantne za domen, na osnovu svoga znanja, iskustva, medicinske literature, odnosno opšte prihvaćenih stavova u medicinskoj praksi. Za svaki parametar ekspert definiše vrednosti koje on može da uzme, format, ograničenja, cenu itd.

Definisanje domena ima dvostruku ulogu: a) da omogući formiranje baze podataka, i b) da formira bazu znanja sistema, proces koji će biti kompletiran u fazi pripreme sistema za konsultaciju.

Ident.
Opšti
Laboratorija
:
Nalazi drugih
spec.

Eksperti
Literatura



Struktura konsultativnog sistema BELART

Prikupljanje podataka

Ovo je komponenta sistema koja omogućuje unošenje podataka o pacijentima, prema onome kako je to u prethodnom koraku definisao ekspert. Prema svojoj prirodi, (identifikacioni, opšti, laboratorijski, nalazi drugih specijalista, itd.) podaci mogu biti unošeni od strane raznog osoblja i (eventualno) sa raznih lokacija.

U ovoj fazi vrši se i provera svih podataka koji se unose, u odnosu na definisane formate, ograničenja itd.

Baza podataka

Prikupljeni podaci o pacijentima čiji su slučajevi obradjeni čine bazu podataka u okviru odgovarajućeg medicinskog domena.

Pregled podataka

Na način koji je uobičajen za medicinske informacione sisteme, mogu se dobiti razni pregledi podataka koji su smešteni u bazu. Potencijalni neposredni korisnici su lekari i medicinske sestre, a moguće je takodje da i potrebe odeljenja iziskuju uvid u neke podatke.

Analiza baze podataka; heurističke procedure

Ovo je specifična komponenta konsultativnog sistema BELART. Ova komponenta ostvaruje spregu baze podataka sa bazom znanja sistema. U fazi pripreme za konsultaciju, sistem na osnovu analize baze podataka, kao i primenom heurističkih procedura,

izvodi zaključke koji se ugradjuju u bazu znanja i služe kao dopuna znanja koje je sistemu preneo sam ekspert.

Baza znanja

Baza znanja sadrži znanje specifično za konkretni medicinski domen za koji je konsultativni sistem namenjen. Ovo znanje odnosi se na manifestacije, medju- i konačne dijagnoze, njihove uzajamne veze, snagu i usmerenja tih veza, cenu utvrdjivanja vrednosti pojedinih parametara itd. Kao što je rečeno, jedan deo ovog znanja sistemu neposredno prenosi ekspert, dok drugi deo automatski formuliše sistem na osnovu podataka.

Mehanizam zaključivanja

U tesnoj vezi sa prethodne dve komponente sistema je i mehanizam zaključivanja. Ova komponenta odražava način rezonovanja i strategije specifične za dijagnostičko odlučivanje u medicini. Ove strategije takodje omogućuju zaključivanje na osnovu dobijenih podataka, kao i propagiranje ovih zaključaka u okviru sistema tokom procesa konsultacije.

Interfejs za konsultacije

Ova komponenta sistema omogućuje obavljanje konsultativnog procesa. Preko nje se pokreće mehanizam zaključivanja, koriste se relevantni delovi baze znanja za vodjenje procesa konsultacije, objašnjava rezonovanje sistema itd. Ekpert preko ovog interfejsa ima uvid u ponašanje sistema u toku rešavanja problema, dakle može da proverava valjanost njegove konstrukcije, odnosno da na osnovu toga donosi zaključke

o tome kakve korekcije ili dopune treba uneti u sistem kako bi on bolje funkcionisao. Potencijalno, korisnici interfejsa, odnosno sistema, mogli bi biti lekari opšte prakse, ili drugih specijalnosti, kao i studenti medicine, za koje bi sistem mogao da predstavlja specifičnu obrazovnu komponentu.

4.2 PREDSTAVLJANJE ZNANJA

Znanje o specifičnom medicinskom domenu predstavljeno je u sistemu znanjem o relevantnim manifestacijama, međudijagnozama i konačnim dijagnozama, vezama koje medju njima postoje i atributima koji im se mogu pripisati.

4.21 POJAM I NAČIN DEFINISANJA PARAMETARA

Pojam manifestacije obuhvata simptome, koji predstavljaju subjektivne tegobe na koje se pacijent žali, znake, koji su objektivni i uočava ih lekar, i nalaze, koji obuhvataju rezultate raznih laboratorijskih testova, odnosno nalaze lekara drugih specijalnosti.

Pojam dijagnoze u odredjenom smislu je relativan i odredjen je medicinskim domenom u okviru koga se rešavaju dijagnostički problemi. Naime, s jedne strane, pojedini testovi u visokoj meri su karakteristični za odredjenu bolest (tzv. patognomonični testovi) pa se praktično identifikuju sa dijagnozom te bolesti. S druge strane, nalazi lekara drugih

specijalnosti mogu sami za sebe predstavljati dijagnoze u okviru tih specijalnosti. Jasno je da u kontekstu medicinskog domena koji se razmatra ovakvi nalazi (i jedne i druge vrste) ne moraju predstavljati konačnu dijagnozu, ali mogu imati ulogu medjudijagnoze.

Na primer, u domenu grupe reumatoloških oboljenja, tzv. seronegativnih artropatija, dijagnoza dermatologa da su kod pacijenta prisutne psorijatske promene na koži predstavlja za reumatologa medjudijagnozu, koja je veoma značajna za dijagnostikovanje jedne od bolesti iz grupe seronegativnih artropatija - psorijatskog artritisa.

Manifestacije, dijagnoze (konačne i medjudijagnoze), kao i drugi podaci o pacijentima, predstavljeni su u sistemu kao parametri, koji se u fazi definisanja domena definišu na sledeći način:

NAZIV - Parametru se najpre daje naziv, koji ga na sažet način opisuje, ali ne podleže praktično nikakvim ograničenjima.

TIP - Tip parametra može biti identifikacioni, ili radni.

Identifikacioni parametar je, obično, ime i prezime, adresa, klinički broj predmeta pacijenta, ili slično. Ovakav parametar služi za identifikaciju, odnosno uvid u podatke o konkretnom pacijentu, ali ne predstavlja predmet analize u dijagnostičke svrhe.

Radni parametar nosi informaciju o pacijentu koja je od značaja za proces medicinskog odlučivanja, pa stoga ovakvi parametri podležu analizi u dijagnostičke svrhe.

VRSTA - Vrsta odražava prirodu parametra i može biti tekst, broj, isključivi kategorijski, ili jedovremeni kategorijski.

OPSEG - Zavisno od vrste, parametar može imati različite opsege.

U slučaju kada je vrsta parametra tekst, njegov opseg je dat maksimalno dozvoljenom dužinom teksta.

Kada je vrsta parametra broj, njegov opseg dat je dozvoljenim intervalom u kome taj broj može da se nalazi (donja i gornja granica).

Ako je vrsta parametra isključivi kategorijski, ili jednovremeni kategorijski, definiše se lista mogućih kategorija za vrednosti odgovarajućeg parametra. Ukoliko je moguće da za ovakav parametar odgovor bude negativan, definiše se najpre takav odgovor kao kategorija. Na primer: "nema" (patologije), "negativan" (test), ili slično. Naime, za potrebe automatskog formiranja pravila (o čemu se govori u odeljku 4.23), neophodno je da se ovakva kategorija posebno izdvoji. Ovakva kategorija, izuzetno, nosi oznaku "0".

CENA - Cena izražava kombinovano troškove i stepen invazivnosti, odnosno trajanje procedure kojom se utvrđuje vrednost odgovarajućeg parametra. Ona se izražava celim brojem od 1 do 5. Pri tome ("visoka") cena 5 jednog parametra ukazuje na to da će biti potrebno da se primene procedure koje su rizične po zdravlje pacijenta, ili su to skupi, odnosno dugotrajni testovi kojima bi se za pojedinog pacijenta ustanovila vrednost ovog parametra. U ovakve "skupe" parametre spadaju pregled na CT skeneru, koronarografija, neke biopsije i sl. Nasuprot ovima, parametri sa ("niskom") cenom 1 su oni čija vrednost može neposredno da se uoči, kao na primer pol, ili starost pacijenta.

DIJAGNOSTIČKE OZNAKE - Kao što je ranije izneto, neki parametri imaju istovremeno svojstva i manifestacija i međjudijagnoza, dok

drugi imaju svojstvo konačne dijagnoze. Otuda se na odgovarajući način i označavaju kao medjudijagnoze, odnosno konačne dijagnoze.

4.22 VEZE MEDJU PARAMETRIMA

Manifestacije su povezane sa svakom od kategorija konačne dijagnoze asocijacijama različite snage. Snaga asocijacije, ili dijagnostička snaga, izražava se decimalnim brojem od 0 do 1. Pritom 1 označava da je manifestacija patognomonička za određenu dijagnostičku kategoriju, odnosno da sa izvesnošću ukazuje na prisustvo bolesti. S druge strane, dijagnostička snaga 0 ukazuje da se određena manifestacija ne pojavljuje u slučaju konkretne bolesti. Tako, Primer 4.1 izražava mogućnost da je, sa dijagnostičkom snagom (DS) jednakom 0.7, krajnja dijagnoza (KD) ankilozirajući spondilitis (AS), ako je karakter bola (KB) inflamatorni (I).

$$DS(KD=AS ; KB=I) = 0.7$$

Primer 4.1

Veze koje postoje medju manifestacijama, odnosno izmedju manifestacija i medjudijagnoza, predstavljene su u sistemu u obliku tzv. produkcionih pravila ([10], III.C.4, III.A).

U opštem slučaju produkciona pravila imaju sledeći oblik:

AKO premisa

TADA zaključak

gde i premisa i zaključak mogu biti složene disjunkcije i

konjunkcije pojedinačnih vrednosti parametara.

Sisteme u kojima bi znanje bilo predstavljeno u obliku produkcionih pravila (tzv. produkcijske sisteme), prvi je predložio Post [182], a razvili su ih Newell i Simon [157]. Osnovni pojmovi i pregled tehnika koje su vezane za ovaj način predstavljanja znanja dat je u [10], [269], [270], [43], [260], [133]. Primenom ove metode za predstavljanje znanja izgradjen je veliki broj ekspertnih sistema, zbog odredjenih prednosti koje ona ima u pogledu modularnosti (postupnosti sa kojom može da se izgradjuje baza znanja), uniformnosti tako izgradjene baze, i prirodnog načina na koji se složeni koncepti mogu izraziti putem produkcionih pravila. Na žalost ova metoda ima i odredjenih mana, naročito u pogledu efikasnosti u izvršavanju programa kod produkcionih sistema, ili jasnoće i preglednosti samog toka rešavanja problema. Neka rešenja ovih problema data su u [11] i [112]. Za diskusiju dobrih i loših strana sistema u kojima je znanje predstavljeno u obliku produkcionih pravila, videti poglavlje III.C.4 u [10].

U produkcionim pravilima BELART-a premisa može biti konjunkcija proizvoljnog broja parametara, odnosno njihovih vrednosti, a zaključak jedan parametar, odnosno njegova vrednost. Opštost, medjutim, nije narušena jer više pravila može imati isti zaključak, a takodje, više pravila sa istom premisom može imati različite zaključke. Tipično produkcijsko pravilo BELART-a dato je u Primeru 4.2

AKO Jutarnji bol se ne smanjuje, i
 Prisutan je otok, i
 Prisutno je crvenilo
 TADA Karakter bola je inflamatorni (0.9)
 (a)

$DS(KB=I ; JB=NS ; O=P ; C=P) = 0.9$
 (b)

Primer 4.2

Veza između premise i zaključka kvantifikovana je dijagnostičkom snagom (DS), koja je u Primeru 4.2 jednaka 0.9. Takodje, u Primeru 4.2 i premisa i zaključak odnose se na pojedinačne vrednosti pojedinih parametara. Moguće je međjutim, da u produkcionom pravilu figuriše i sam parametar kao takav, bez obzira na to koju konkretnu vrednost ima. Ovakav slučaj prikazan je u Primeru 4.3.

AKO Artritis
 TADA krajnja dijagnoza je
 ankilozirajući spondilitis (0.5)
 (a)

$DS(KD=AS ; A) = 0.5$
 (b)

Primer 4.3

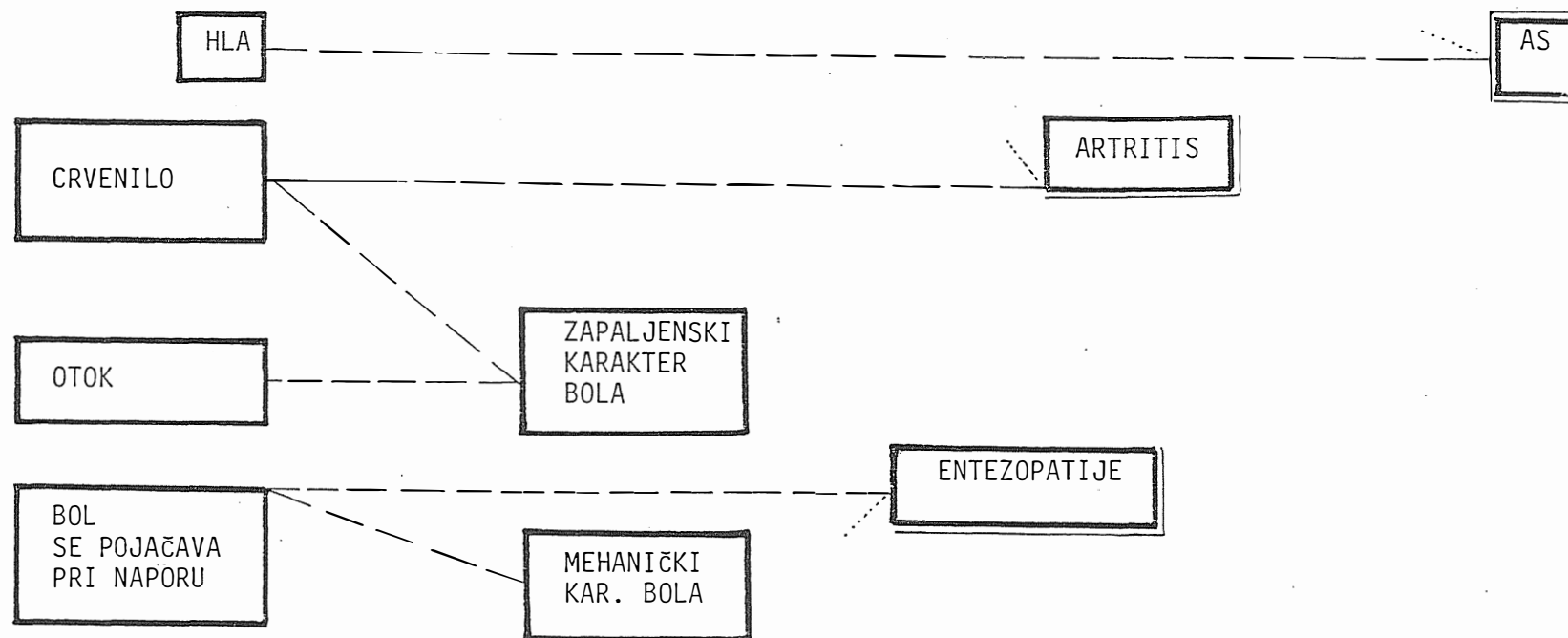
U primerima 4.2 i 4.3 delovi (a) predstavljaju zapise pravila na srpskohrvatskom jeziku, dok su delovi (b) simbolično predstavljani interni zapisi odgovarajućih pravila.

Jasno je da i Primer 4.1 predstavlja poseban oblik produkcionih pravila.

Pošto definiše pravila, ekspert može da ukaže na "izvor" za odgovarajuće pravilo, koji može biti iskustvo, ili literatura. U slučaju da je izvor pravila literatura, ekspert može da citira, kao slobodan tekst i odgovarajuću jedinicu.

Prikazani primeri pokazuju i to da zaključak jednog pravila može da predstavlja premisu za drugo pravilo. Naime, inflamatorni karakter bola zaključak je pravila iz Primera 4.2, a premissa pravila iz Primera 4.1. U vezi sa ovim postavlja se i pitanje tzv. "propagiranja informacije" u okviru sistema, kao i izračunavanje odgovarajućih (rezultujućih) dijagnostičkih snaga. Ovim pitanjima biće posvećena posebna pažnja u poglavlju 4.34.

Na Slici 4.2 prikazana je organizacija baze znanja konsultativnog sistema BELART, nakon što je ekspert definisao domen reumatologije. Pojedini parametri, odnosno njihove vrednosti, predstavljeni su pravougaonicima. Kod parametara koji predstavljaju krajnje dijagnoze sve četiri stranice pravougaonika iscrtane su dvostrukim linijama, dok je kod međudijagnoza to slučaj samo sa po dve stranice. Isprekidane linije kojima su pravougaonici povezani predstavljaju produkciona pravila koja je definisao ekspert.



Veze uspostavljene putem pravila koja unosi ekspert

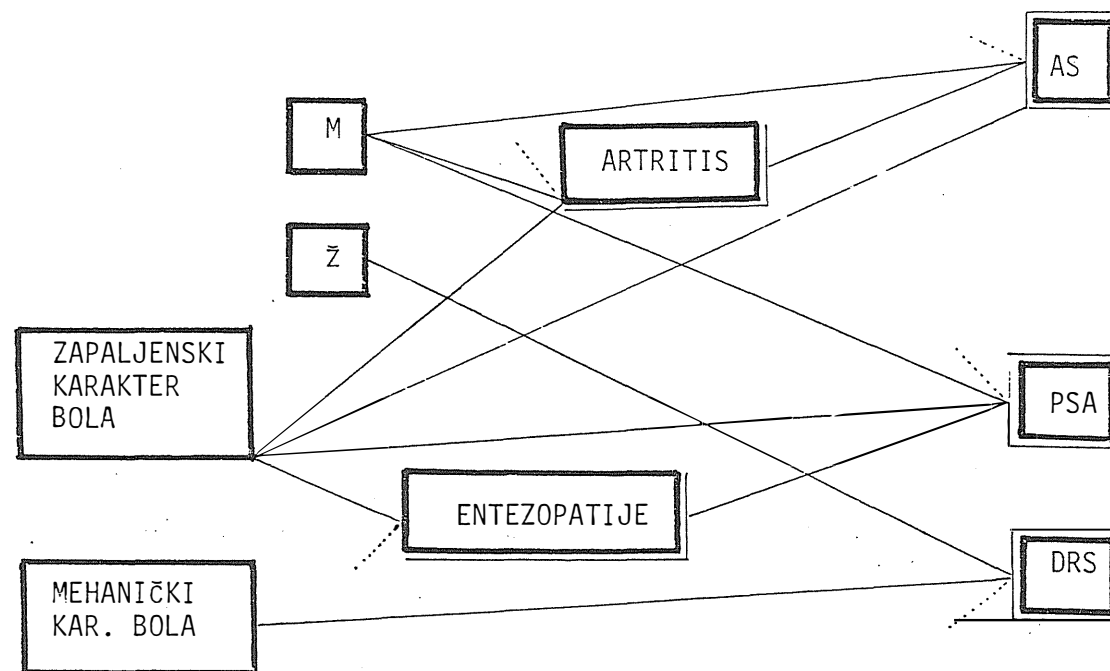
Slika 4. 2.

4.23 AUTOMATSKO FORMIRANJE PRAVILA

Kao što je prikazano u prethodnom odeljku, znanje o asocijacijama između manifestacija, međudijagnoza i dijagnoza, kao i o njihovoj snazi, predstavljeno je u konsultativnom sistemu u obliku produkcionih pravila.

Jedan deo ovoga znanja sistemu prenosi sam ekspert u procesu definisanja domena. Ono odražava teoretske kriterijume i opšte prihvaćenu praksu koju primenjuju specijalisti u okviru konkretnog medicinskog domena. Takođe, ekspert može da prenese sistemu i naka od svojih ličnih iskustava ili uverenja.

Malo je verovatno, međutim, da će eksperti prilikom formiranja baze znanja biti u stanju da iznesu i formulišu sve relevantne činjenice i odnose, bez čijeg poznavanja nije moguće ekspertno rešavanje problema u okviru odgovarajućeg domena. Ekspertima, kao i drugim ljudima, dešava se da previde, ili uproste neke bitne detalje svoga znanja. Takođe, obično je opšte znanje o domenu i samo predmet dinamičkog razvoja, pa je stoga potrebno da sistem bude u stanju da i u nekoj kasnijoj fazi dopuni svoju bazu znanja, ili koriguje neke njene delove. Ovakav način izgradnje baze znanja naziva se postupnim (incremental), ili modularnim ([10]:III.A; III.C.4). U konsultativnom sistemu BELART, modularni način izgradnje baze znanja omogućen je time što je znanje u sistemu predstavljeno u obliku produkcionih pravila, kao i unošenjem u bazu podataka novih slučajeva iz prakse, koji bi pružali praktičnu potporu nekim novim saznanjima.



Veze uspostavljene putem pravila koja automatski formira sistem

Slika 4. 3.

Drugi značajan problem koji se susreće prilikom konstruisanja ekspertnih sistema jesu teškoće koje eksperti imaju kada treba eksplicitno da formulišu svoje znanje o određenom domenu. U medicini su ove teškoće još izraženije nego što je to slučaj u nekim drugim domenima, kakav je, na primer, simbolička integracija [122]. Priroda problema u većini medicinskih aplikacija nije u dovoljnoj meri jasna ([10], Vol.II:80), [180], da bi se u potpunosti mogao da specifikuje problem koji ekspertni sistem treba da rešava. Otuda su i eksperti-lekari spremniji da razgovaraju o onome što rade, nego da precizno izraze ono što znaju.

Istraživači u oblasti veštačke inteligencije, a posebno nauke o saznanju [217], [167], [168], [155], uočili su teškoće koje eksperti imaju kada treba da eksplicitno formulišu svoje znanje o domenu, i dali su mu posebno ime: Feigenbaum-ovo usko grlo. Naime, Feigenbaum ističe da je ovaj mukotrpni proces inženjerstva znanja (knowledge engineering), u toku koga ekspert za konkretni domen i stručnjak za računare nastoje da kreiraju i izgrade bazu znanja tog domena, predstavlja glavno usko grlo u razvoju ekspertnih sistema [62].

Rešenje jednog aspekta ovog problema je u tome da se omogući ekspertu da sam prenese na sistem svoje znanje o domenu. Ovaj problem posebno je obradjen u odeljku 4.4 o automatskom transferu ekspertnog znanja (ekspertize).

Drugi aspekt problema "uskog grla", kako ističe Michie [136], [137], srećom olakšava činjenica što eksperti, iako nisu uvek u stanju da "kažu kako" ("say how"), umeju da "pokažu kako" ("show how") rešavaju probleme u okviru svog domena ekspertize.

Dakle, postavlja se zahtev da se konstruišu takvi sistemi koji bi na neki način mogli automatski da preuzmu i ovakve funkcije. U ovoj oblasti tzv. automatskog učenja, postoji veći broj radova [198], [199], [143], [144], [145], [146], [116], [24], [26], [251], [268]. Poseban pregled ove oblasti dat je u [35], [136], [137]. Međutim, do sada postoji relativno mali broj ekspertni sistema kojima su dogradjene takve mogućnosti, kao na primer metode za automatsko formiranje teorija u sistemu Meta-DENDRAL, [25], [29], ili AM [109].

Konsultativni sistem BELART poseduje procedure koje vrše automatske analize baze podataka sistema. Kao rezultat ovih analiza sistem dolazi do saznanja o postojanju i jačini asocijacija medju entitetima u bazi znanja [223].

Nakon definisanja domena, i pošto se formira baza podataka, u fazi pripreme sistema za konsultaciju, ekspert označava one parametre koji predstavljaju krajnju, odnosno medju dijagnoze. Istorije bolesti pacijenata čiji su slučajevi pažljivo provereni, a dijagnoze potvrđjene, čine bazu podataka koja se tada analizira. Na osnovu ovih podataka ocenjuje se relativna učestanost pojave pojedinih manifestacija, kada je prisutna određena dijagnoza. Drugim rečima, određuje se količnik

$$Q_{ijk} = \frac{\#(MP_i=V_{ij} ; DP=V_k)}{\#(DP=V_k)} \quad (4.2.1)$$

gde $\#(MP_i=V_{ij} ; DP=V_k)$ označava broj slučajeva kada kod pacijenta istovremeno i -ti manifestacioni parametar (MP_i) ima j -tu vrednost (V_{ij}) i dijagnostički parametar (DP) ima k -tu

vrednost $\langle V_k \rangle$;

a $\# \langle DP=V_k \rangle$ označava broj slučajeva kada dijagnostički parametar $\langle DP \rangle$ ima k -tu vrednost $\langle V_k \rangle$.

Dijagnostička snaga kojom prisustvo j -te vrednosti manifestacije i kod pacijenta ukazuje na moguće prisustvo k -te dijagnoze,

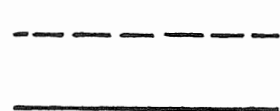
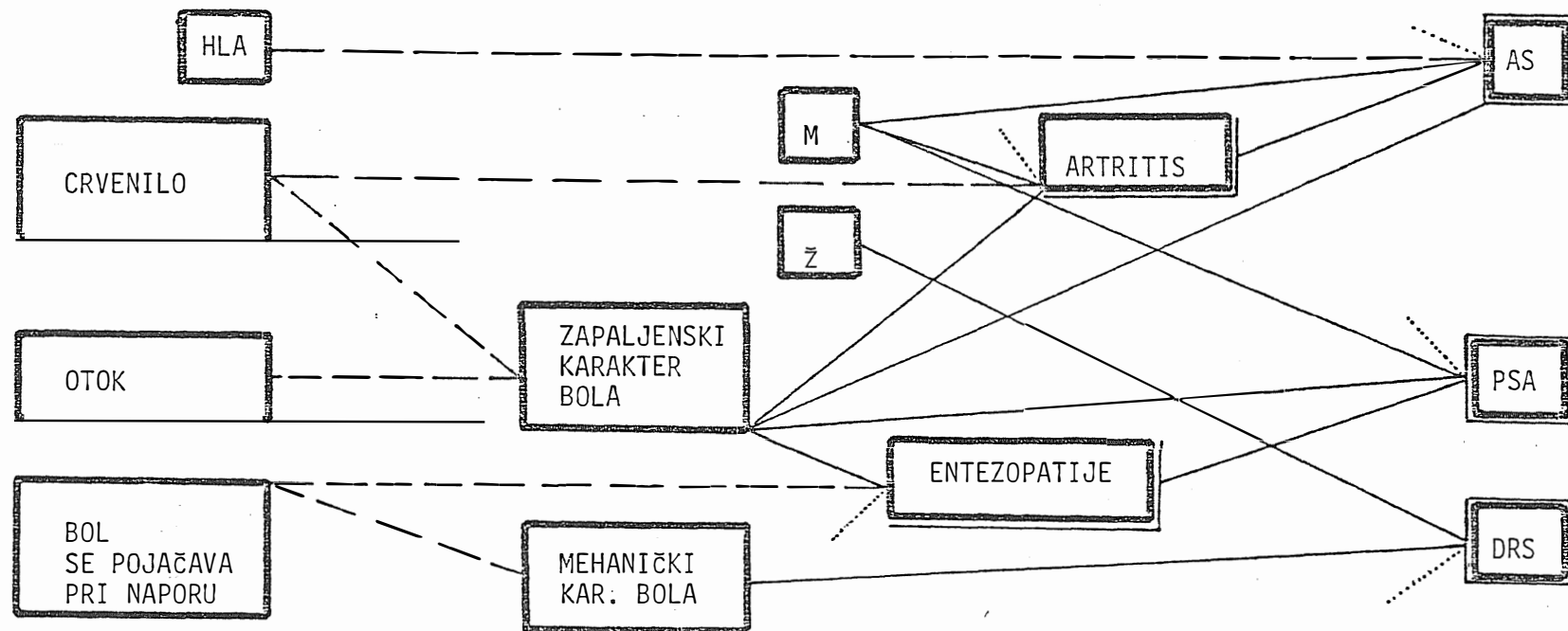
$$DS \langle DP=V_k ; MPI=V_{ij} \rangle = DS_{ijk} \quad (4.2.2)$$

dobija se zaokruživanjem na jednu decimalu broja Q_{ijk} , $\langle DS_{ijk} = [Q_{ijk}] \rangle$.

Jasno je da ovako definisane dijagnostičke snage DS ($=DS_{ijk}$) uzimaju vrednosti iz skupa $\{0, 0.1, 0.2, \dots, 1\}$, pa dakle izraz (4.2.2) ima u sistemu istu internu reprezentaciju kao i produkciona pravila koja unosi ekspert (primeri 4.2 i 4.3).

Ovakvo automatsko formiranje produkcionih pravila koristi se za dopunu baze znanja sistema u slučajevima kada ne postoji, odnosno nije eksplicitno zabeleženo, odgovarajuće medicinsko znanje. Takođe, u slučajevima kada takvo medicinsko znanje postoji, odnosno eksplicitno je zabeleženo u sistemu, automatski formirana pravila mogu da posluže ekspertu kao provera u kojoj meri su u, konkretnim slučajevima, saglasni medicinska teorija i praksa.

Na Slici 4.3 prikazan je deo baze znanja iz primene konsultativnog sistema u reumatologiji (videti Sliku 4.2). Puno linije kojima su povezani pravougaonici (entiteti u bazi znanja) predstavljaju produkciona pravila koja je automatski formirao sistem, na osnovu analize postojeće baze podataka.



Veze uspostavljene putem pravila koja unosi ekspert

Veze uspostavljene putem pravila koja automatski formira sistem

Deo "integrisane" baze znanja BELART-A

Slika 4. 4.

Slika 4.4 predstavlja deo "integrisane" baze znanja iz primene konsultativnog sistema u reumatologiji. Na ovoj slici prikazana baza znanja sa produkcionim pravilima koja je uneo ekspert (isprekidane linije), upotpunjena je produkcionim pravilima koja je automatski formirao sistem (pune linije). Uporediti sa slikama 4.2 i 4.3.

4.3 REZONOVANJE O DOMENU

Način rezonovanja o domenu kojim se koristi konsultativni sistem BELART ne pretenduje na to da u potpunosti predstavlja način na koji medicinski eksperti rezonuju prilikom rešavanja problema u svom domenu. Međutim, imajući u vidu specifičnosti problematike vezane za medicinsku dijagnostiku, prilikom konstruisanja konsultativnog sistema nastojalo se da se u njega ugrade neki bitni elementi dijagnostičkog rezonovanja.

4.31 ODREĐIVANJE BITNIH PARAMETARA

Kako je već bilo reči u poglavlju 4.2, baza znanja sistema upotpunjuje se u fazi pripreme za konsultativni proces produkcionim pravilima koja sistem automatski formira na osnovu analize baze podataka. Takođe, primenom više raznih procedura u ovoj fazi se baza znanja dodatno strukturiše, kako bi u toku procesa konsultacije na odgovarajući način bili korišćeni njeni

relevantni delovi.

Mada već i sam izbor za domen relevantnih parametara, koji je prepušten ekspertu, ukazuje na to da se radi o parametrima (u ovom slučaju pre svega se misli na manifestacije) koji su značajni za dijagnostičko odlučivanje, jasno je da svi oni nisu od podjednakog značaja.

Problem izdvajanja bitnih parametara na osnovu podataka obradjen je u multivarijantnoj statistici. Poznato je više metoda, kao multivarijantna regresiona analiza [13], [12], [242]; tzv. metode glavne komponente [31], [95], [96], [97]; ili diskriminacione analize [188], kojima se izdvajaju parametri - nosioci najvećeg dela informacije. Opšta razmatranja ovog problema, data u [120] i [242] ukazuju, međjutim, da je pitanje kriterijuma optimalnosti ovih metoda složeno, odnosno da ne postoji jedinstveni takav kriterijum.

Dve metode takodje podrazumevaju složena izračunavanja matrica, koja već i za relativno mali broj posmatranih parametara n , počinju da predstavljaju praktičnu prepreku za njihovo efikasno korišćenje.

Ovi razlozi motivisali su rad na istraživanju alternativnih, heurističkih procedura.

Termin "heuristika" jedan je od ključnih kojim se operiše u veštačkoj inteligenciji, [110], [200], [220], mada su mu razni autori pridavali donekle različiti značaj. Polya [177], ga koristi da označi filozofsku disciplinu koja izučava metode i zakonitosti procesa otkrivanja i invencije. Dva donekle različita aspekta pojma heuristika, koji daju Newell, Shaw i Simon u [162], i Minsky u [140], objedinjuju Feigenbaum i Feldman u [63];

"Heuristika (heurističko pravilo, heuristički metod) je pravilo 'odoka', strategija, trik, pojednostavljenje, ili bilo kakvo drugo sredstvo kojim se drastično ograničava traganje za rešenjima u velikim problemskim prostorima. Heuristike ne garantuju optimalna rešenja; u stvari, one uopšte ne garantuju bilo kakvo rešenje; sve što se može reći za korisnu heuristiku je da ona nudi rešenja koja su dovoljno dobra u većini slučajeva."

Različiti aspekti pojma heuristika obradjeni su još u [5], [22], [73], [92], [103], [147], [148], [149], [165], [196], [204], [205], [249], [258], [259].

Konsultativni sistem BELART primenjuje sledeću heurističku proceduru kojom se izdvajaju bitni parametri za proces dijagnostičkog odlučivanja.

Neka je

$$D_i = \max_{j,k} \left| DS(DP=V_k; MP_i=V_{ij}) - DS(DP=V_q; MP_i=V_{ij}) \right| \quad (4.2.3)$$

gde je $k \neq q$

Tada kažemo da je parametar (manifestacija) MP_i bitan za donošenje dijagnostičke odluke u okviru određenog domena, ako je

$$D_i \geq D, \quad D \in \{0.1, 0.2, \dots, 1\}, \text{ fiksno} \quad (4.2.4)$$

Ova heuristika ima i svoj vrlo prihvatljiv rezon. Da bi

jedan parametar bio bitan za dijagnozu određene bolesti u okviru domena, nije dovoljno da se on sa velikom dijagnostičkom snagom manifestuje kod te bolesti. Naime, moguće je da se isti parametar sa visokom dijagnostičkom snagom podjednako manifestuje kod svih bolesti u okviru domena. Ovakav parametar može biti veoma značajan u slučaju da se konsultativni sistem primenjuje na znatno šire područje medicine koje sadrži više ovakvih domena kao poddomene. Tada ovakav parametar ima ulogu "stezača", opisanog u odeljku 3.22 o sistemu INTERNIST/CADUCEUS, [180]. Za dijagnozu bolesti u okviru jednog domena biće dakle bitni oni parametri koji se manifestuju kod bolesti iz tog domena dijagnostičkim snagama koje se medjusobno značajno razlikuju.

Jasno je da nivo razlike, D , može biti viši ili niži, što ima za posledicu više, odnosno manje strogu selekciju bitnih parametara.

Primenjena heuristička procedura (sa izabranim nivoom razlike $D = 0.2$) pokazala se u praksi veoma efikasnom. Pritom je računaska složenost vezana za primenu ove heuristike znatno manja od one koju iziskuje primena odgovarajućih metoda multivarijatne statistike.

4.32 RESTRUKTUIRANJE BAZE ZNANJA

Heurističkom procedurom upravo opisanom u prethodnom odeljku, primenom izraza (4.2.3) određuje se, za svaki parametar MP_i odgovarajuća vrednost D_i , koja odražava stepen sposobnosti tog parametra da vrši diskriminaciju medju

oboljenjima (dijagnozama) u okviru tog domena.

Dve vrednosti D_i , kao i odgovarajuće cene parametara C_i , koriste se kako bi se na adekvatan način restrukturirala baza znanja sistema za potrebe konsultativnog procesa, odnosno dijagnostičkog odlučivanja.

Parametri manifestacija (MP) uredjuju se sada prema sledećem pravilu:

Parametri koji zadovoljavaju nejednakost (4.2.4), odnosno takvi da je $D_i \geq D$, čine grupu ključnih parametara (bitnih za donošenje dijagnostičkih odluka u okviru domena) nivoa D .

Sledeće grupe čine, respektivno, parametri koji zadovoljavaju jednakost

$$D_i = D - q, \text{ gde } q = 0.1, 0.2, \dots, D \quad (4.2.5)$$

i mogu se uslovno nazvati ključnim parametrima nivoa $D - q$.

Unutar grupe, ključni parametri nivoa D uredjuju se prema vrednosti cene $C_i = C(MP_i)$, tj.

$$MP_i \leq MP_j \Leftrightarrow C(MP_i) \leq C(MP_j), \quad i \neq j \quad (4.2.6)$$

Na ovaj način restrukturirana baza znanja sistema omogućuje da se u toku procesa konsultacije parametri čiju vrednost treba utvrditi, tj. pitanja koja se odnose na stanje pacijenta, mogu postavljati prema odredjenom redosledu. Naime, prvo će se postavljati pitanja čija je moć diskriminacije medju dijagnozama u okviru domena najveća, i pritom će se voditi računa da prvo budu postavljana pitanja čija je cena najmanja.

4.33 KONSULTATIVNI PROCES

Proces konsultacije započinje unošenjem početnih podataka o pacijentu. Po pravilu, ovo su podaci čija je cena najniža i mogu biti uneti i od strane paramedicinskog osoblja (pol, starost, i slično). Na osnovu ovih podataka sistem formira skorove za svaku od dijagnostičkih kategorija. Skor za svaku dijagnostičku kategoriju k , $S_k = S(DP=V_k)$, definisan je na sledeću način:

$$S_k = I_k \sum_{i \in M} DS(DP=V_k ; MP_i = V_{ij}) \quad (4.2.7)$$

gde je $I_k = \text{const.}$ i $I_k \in (0,1)$,

a M skup svih onih manifestacija (parametara) čije je prisustvo (vrednost V_{ij}) ustanovljeno kod pacijenta.

Drugim rečima, skor određene bolesti k čini zbir dijagnostičkih snaga svih onih produkcionih pravila koja u zaključku imaju dijagnostičku kategoriju k , a čije premise (manifestacije) su zadovoljene (ustanovljene kao prisutne kod pacijenta). Ovi zbirovi korigovani su konstantama I_k , koje predstavljaju incidencu bolesti k , odnosno njenu relativnu učestanost u odnosu na grupu bolesti u okviru razmatranog domena.

Na osnovu unetih početnih podataka o pacijentu i izračunatih odgovarajućih skorova, sistem formira radnu hipotezu

o bolesti (jednoj ili više njih) čije je prisustvo moguće kod pacijenta. Radnu hipotezu sačinjavaju one bolesti koje su se pojavile u zaključcima produkcionih pravila čije su premise bile zadovoljene.

Vodeće bolesti u radnoj hipotezi (one sa najvišim skorovima) usmeravaju dalji tok konsultacije. Prema principu utvrdjenom u odeljku 4.32, sistem će postavljati ona pitanja koja se javljaju kao premise u pravilima čiji su zaključci vodeće bolesti na listi radnih hipoteza. Ovo neposredno omogućuje definicija bitnih parametara, (4.2.3). Iz nje, naime sledi da se može izvršiti particija svakog skupa bitnih parametara (odredjenog nivoa D) na disjunktne podskupove koji bi odgovarali parovima vrednosti konačnih dijagnoza (fiksno k i q u (4.2.3)). U Prilogu 4.B date su liste bitnih parametara za kombinacije parova krajnjih dijagnoza.

Razumljivo, ukoliko u toku ovog iterativnog procesa podaci ukažu na potrebu da se neka nova dijagnoza uključi u radnu hipotezu, sistem će to učiniti automatski i nastaviti sa postavljanjem pitanja koja će biti relevantna za tu novu situaciju. Efektivno, sistem će preći na novu listu bitnih parametara koja odgovara trenutno vodećem paru dijagnoza, i tražiti da se ustanovi vrednost prvog parametra sa te liste čija vrednost još nije ustanovljena.

Ova sposobnost sistema da u toku rada restrukturiira svoje znanje i prilagodi ga situaciji sa kojom je suočen, veoma je značajna. Na to ukazuje više autora [234], [238], što je istaknuto i u odeljku 3.0.

Konsultativni proces se okončava time što sistem sugerije

najverovatniju dijagnozu, ako su ispunjeni sledeći uslovi:

1. Skor vodeće dijagnoze viši je od unapred zadate vrednosti E_k ;

2. Razlika skorova izmedju vodeće dijagnoze i prve sledeće veća je od unapred zadate vrednosti M .

Prva od ovih vrednostu, E_k , predstavlja zahtev da podaci o pacijentu kojima se raspolaže pružaju dovoljnu evidenciju u prilog dijagnoze k . Mada vrednost E_k odredjuje ekspert, ona se može izraziti i preko srednje vrednosti SV_k i standardne devijacije SD_k skorova za slučajeve kod kojih je potvrđena dijagnoza k i koji se nalaze u bazi podataka sistema. Naime, (ako baza podataka sadrži dovoljan broj ovakvih slučajeva) E_k se može izraziti na sledeći način:

$$E_k = SV_k - a \cdot SD_k, \quad a > 0 \quad (4.2.8)$$

(Praksa je pokazala da se zadovoljavajući rezultati dobijaju za vrednost $a \approx 2$.)

Druga od zadatih vrednosti, M , predstavlja marginu za koju će najverovatnija dijagnoza "voditi" ispred ostalih. Iako se i za vrednost M može definisati postupak kojim bi se ona automatski odredjivala na osnovu podataka (na primer, posebna vrednost M za svaki par vodećih dijagnoza), u ovom slučaju od posebnog je značaja specifičnost problematike razmatranog medicinskog domena. Priroda domena može nametati potrebu da se razmatraju isključivo diferencijalne dijagnoze, u kom slučaju je opravdan zahtev da margina M ima odredjenu pozitivnu vrednost. S druge strane, u mnogim medicinskim domenima moguće je i

jednovremeno prisustvo više bolesti kod istog pacijenta [178], pa je stoga neophodno da vrednost M definiše sam ekspert.

U slučaju da uslovi 1. i 2. nisu ispunjeni, konsultativni sistem će sugerisati izvodjenje "skupljih" testova (odnosno, tražiće da se ustanovi vrednost preostalih parametara, čija je cena viša) i proces se tako nastavlja.

U toku procesa konsultacije, kako se vidi, redosled primene pojedinog pravila ne zavisi neposredno od toga da li ga je kreirao ekspert ili sistem, već od toga da li premisa tog pravila predstavlja vrednost parametra koji je primenom opisane heuristike izdvojen kao bitan za diferencijalnu dijagnozu. Pravila koja u zaključku nemaju jednu od konačnih dijagnoza, a koja je formulisao ekspert (takvo je, recimo, dato u Primeru 4.2), sistem će nastojati da primeni ako korisnik nije u mogućnosti da da odgovor koji se odnosi na zaključak pravila (u našem primeru korisnik ne zna odgovor na pitanje "KARAKTER BOLA:").

4.34 PROPAGIRANJE INFORMACIJE

Kao što to prikazuje Slika 4.4, baza znanja konsultativnog sistema BELART može se posmatrati i kao semantička mreža. Predstavljanje znanja u obliku semantičke mreže jedan je od dobro poznatih i razradjenih metoda veštačke inteligencije za predstavljanje znanja [183], [168], [6], [211], [10].

U ovom formalizmu, čvorovi mreže (pravougaonici na Slici 4.4) predstavljaju pojedine vrednosti parametara (manifestacije,

medjudijagnoze i dijagnoze). Veze medju čvorovima u mreži predstavljaju razne tipove asocijacija medju parametrima. Skup produkcionih pravila koji odgovara ovim vezama, upravlja prenosom informacija izmedju čvorova u semantičkoj mreži. U toku procesa konsultacije, manifestacije uočene kod pacijenta predstavljaju u semantičkoj mreži čvorove koji su "aktivirani". Kako je već napomenuto u 4.22, produkciona pravila u kojima su "aktivirane" (zadovoljene) premise, mogu imati zaključke koji predstavljaju premise nekih drugih pravila, a koje će na ovan način biti aktivirane. Ovaj proces naziva se propagacija informacije ([10], VolII:212).

Ovaj problem dodatno se usložnjava time što se u praksi prisustvo pojedinih manifestacija ne može ustanoviti sa potpunom izvesnošću. Drugim rečima, postavlja se pitanje u kojoj će meri biti izvestan zaključak, ako je izvesnost premisa bila kvantifikovana određenim faktorima.

Ovom pitanju posvećena je posebna pažnja [54], [55], [184], [185], a jedan od odgovora dao je Shortliffe [206], svojim modelom faktora izvesnosti (CF), koji je primenjen u sistemu MYCIN. Neki drugi sistemi, kao IRIS, na primer, takodje primenjuju svoje modele propagiranja informacija [244], [245]. Matematičku formulaciju jednog opštijeg modela dali su Dempster, (a potom) i Shafer [203], po kojima je model i dobio ime: Dempster-Shafer-ov (D-S). Nešto kasnije, Barnett [8] i Gordon i Shortliffe [74] dali su postupke kojima se D-S model može prilagoditi i za primenu u složenim domenima, a da pritom ne zahteva eksponencijalno vreme obrade kao što je to slučaj sa originalnim modelom.

Jedna varijanta ovako prilagodjenog D-S modela koristi se i u konsultativnom sistemu BELART.

Pravila za propagiranje informacije u BELART-u mogu se iskazati na sledeći način:

a) Ako je izvesnost koja je pripisana uočenoj vrednosti V_{ij} parametra MP_i (tj uočenoj premisi) jednaka m , tada je izvesnost prisustva dijagnostičke kategorije V_k (zaključka) (Videti (4.2.2)) data sa:

$$DS_{ijk} \cdot m, \quad 0 \leq m \leq 1 \quad (4.2.9)$$

Ovo će biti ilustrovano na Primeru 4.1. Neka je prilikom konsultacije kod pacijenta uočen inflamatorni karakter bola sa izvesnošću $m = 0.5$. Tada će izvesnost zaključka da je kod pacijenta u pitanju ankilozirajući spondilitis biti

$$DS(DK=AS; KB=I) \cdot m = 0.7 \cdot 0.5 = 0.35$$

b) Ako premisa ima oblik konjunkcije više parametara, tada će izvesnost zaključka biti jednaka proizvodu minimalne izvesnosti premisa i dijagnostičke snage.

Neka su u Primeru 4.2 izvesnosti premisa "Jutarnji bol se ne smanjuje", "Prisutan je otok", i "Prisutno je crvenilo" date sa 0.7, 0.5, i 1, respektivno. Tada zaključak da je karakter bola kod pacijenta inflamatorni ima vrednost $0.5 \cdot 0.9 = 0.45$.

4.4 TRANSFER EKSPERTNOG ZNANJA

Kod većine konsultativnih ekspertnih sistema problem transfera ekspertnog znanja, odnosno prihvatanja znanja i njegovog prenosa u program, razrešavan je zajedničkim radom stručnjaka za računare i eksperta u domenu za koji se sistem konstruiše. Potreba automatskog rešavanja ovog problema, kao i opšteg poboljšanja komunikacije sa korisnikom [9], dovela je u novije vreme ne samo do razvoja raznih metodologija prihvatanja znanja [82], [83], [84], [85], već i do razvoja posebnih ekspertnih sistema čija je namena bila da ove funkcije omoguće za postojeće ekspertne sisteme u pojedinim domenima. (Primer TEIRESIAS-a [42], za sistem MYCIN.)

Ovaj problem rešavan je uporedo sa drugim problemima u toku konstruisanja konsultativnog sistema BELART. Na to je uticala ne samo potreba za interaktivnim transferom ekspertnog znanja, već i specifičnost konstrukcije BELART-a koji u sebi objedinjuje i bazu podataka o pacijentima iz domena ekspertize. Otuda su korišćena i iskustva iz izgradnje sistema za upravljanje bazama podataka, posebno jednog takvog sistema konstruisanog u Centru za multidisciplinarne studije (Radanović et al. [186]).

Za razliku od onih sistema za upravljanje bazama podataka (DBMS), [40], [248], koji u pristupu bazi podataka nastoje da se koriste prirodnim jezikom [195], [252], [79], [39], BELART ne

poseduje opštu sposobnost komuniciranja na prirodnom jeziku. Umesto toga, on koristi organizacionu strukturu svoje baze znanja i podataka, kao i dijalog, kako bi sa korisnikom komunicirao na prirodnom jeziku u okviru ograničenog domena. Jedan ovakav tipičan sistem, koji se na svom kraju isturenom prema korisniku javlja prirodnim jezikom (natural language front end), mada ne poseduje opšte sposobnosti za njegovo razumevanje je sistem TED [89], kao i neki drugi slični sistemi [256]. O problemima i perspektivama u ovoj oblasti raspravlja se u [88], [253], [265], [266], [267].

Kod konsultativnog sistema BELART u toku sve četiri osnovne faze rada komunikacija sistema sa korisnikom odvija se bez potrebe za prisustvom stručnjaka za računare, odnosno programera.

U fazi definisanja domena ekspert u dijalogu sa sistemom definiše pojmove, odnosno parametre, sa svim njihovim obeležjima, navedenim u 4.21. Time se ujedno definiše i struktura baze podataka. Ekspert nakon toga unosi svoje znanje o vezama koje postoje medju prethodno definisanim parametrima. Ovo znanje unosi se takodje u obliku dijaloga, prema proceduri prikazanoj u Prilogu A. Unutar sistema, ovo znanja o vezama medju parametrima predstavljeno je u obliku produkcionih pravila (odeljak 4.22).

U fazi formiranja baze podataka vrši se unošenje podataka u bazu, čija je struktura definisana u prethodnoj fazi. Ovaj proces odvija se interaktivno, pri čemu podatke koje korisnik unosi sistem proverava u odnosu na njihovu zadatu strukturu (tip, vrstu, opsege). Ovaj deo procesa uobičajen je za sisteme za upravljanje bazama podataka.

U fazi pripreme sistema za konsultaciju korisnik u dijalogu sa sistemom precizira pojedine veličine u sistemu, od kojih će zavisiti dijagnostičko ponašanje sistema u toku konsultacije.

To se u prvom redu odnosi na vrednosti opisane u odeljku 4.33: pragova E_k , razlika D za odredjivanje bitnih parametara, margine M , i incidence bolesti iz domena I_k , (ako baza podataka o pacijentima ne predstavlja slučajan uzorak, odnosno ne reprezentuje u dobroj meri relativne učestanosti pojedinih bolesti u okviru domena).

Ekspert ovom prilikom odredjuje i to koji parametri će predstavljati konačnu, odnosno medjudijagnoze. Time se "usmerava" analiza baze podataka tako da sistem nastoji da otkrije veze izmedju parametara i automatski ih formuliše u obliku produkcionih pravila (odeljak 4.23) u onim slučajevima koji su za korisnika "najinteresantniji".

Takodje, ekspert može u ovoj fazi da definiše i nova pravila i, ako je tom prilikom potrebno, definiše nove parametre (za koje, razume se, neće postojati podaci u bazi podataka).

Treba napomenuti da sve ove veličine, kao i pravila, ekspert može da modifikuje i izmedju uzastopnih konsultacija, pa dakle time postigne bolje "performanse" konsultativnog sistema.

Najzad, u fazi konsultacije, celokupan dijalog vodi se neposredno izmedju korisnika i sistema. Pritom korisnik unosi podatke o pacijentu i odgovara na pitanja, odnosno zahteve sistema u pogledu novih podataka, ili eventualnih testova i pregleda koje treba izvršiti nad pacijentom.

Ovde treba naglasiti da korisnik u ovoj fazi može i da

postavlja pitanja sistemu, što se detaljnije obrađuje u narednom poglavlju.

Primeri dijaloga korisnika i sistema u svakoj od opisanih faza, nalaze se u prilogima A, B, C i D (respektivno).

4.5 SPOSOBNOST OBJAŠNJAVANJA I OPRAVDAVANJA REZONOVANJA

Kako je više puta do sada isticano, sposobnost sistema da objasni i opravda svoj tok rezonovanja je osobina koja je veoma značajna za prihvatanje konsultativnog sistema od strane lekara.

Do sada je ovom problemu posvećeno najviše pažnje u sistemu MYCIN [206], a nešto kasnije i TEIRESIAS-u [42].

Takodje, izgradjeni su sistemi OWL [235], [236], i CENTAUR [2], koji rekonfigurišu postojeće sisteme, Digitalis Therapy Advisor (Savetnik za terapiju digitalisom) [210], i PUFF [106], respektivno, i u novoj verziji im omogućuju neke funkcije objašnjavanja rezonovanja.

U konsultativnom sistemu BELART funkcija objašnjavanja rezonovanja ostvarena je na sledeći način.

U svakom koraku konsultativnog procesa, $m = 1, 2, \dots, N-1$ (gde je N ukupan broj parametara definisanih u domenu, pa dakle uključuje i parametar označen kao krajnja dijagnoza - otuda $N-1$), sistem pamti pitanje postavljeno korisniku i dobijeni odgovor, odnosno parametar i njegovu vrednost, za koju je ustanovljeno da je prisutna kod pacijenta, ($MP_m = V_{mj}$).

Takodje, u svakom koraku m , ($m = 1, 2, \dots, N-1$) sistem

panti i stanje skorova, definisanih sa (4.2.7), tj. Sk,m , za svaku od kategorija krajnjih dijagnoza, k . Pritom su skorovi ažurirani nakon odgovora na m -to pitanje.

Ukoliko korisnik želi, on može da umesto odgovora na $m+1$ pitanje, postavi upit sistemu. Na ovaj upit, sistem pokušava da opravda postavljeno pitanje ($m+1$) na sledeći način:

1) sistem izlaže listu skorova Sk,m , koje je svaka od kategorija krajnje dijagnoze stekla zaključno sa odgovorom na pitanje m (niz Sk,m uredjen je u nerastućem poretku);

2) sistem, takodje, izlaže sva pravila koja kao premise imaju moguće odgovore na postavljeno pitanje $m+1$.

Drugim rečima, sistem izlaže listu, prema dotadašnjoj evidenciji najverovatnijih dijagnoza, i pitanje koje će o vodećim dijagnozama na listi dati najviše informacija (videti prilog D).

U slučaju da je konsultativni sistem već zaključio proces konsultacije (u skladu sa navedenim uslovima u 4.33) i sugerisao najverovatniju dijagnozu bolesti, na upit korisnika sistem će pokušati da objasni svoju odluku na sledeći način.

Za sugerisanu konačnu dijagnozu (vodeću kategoriju k na listi nakon poslednjeg koraka, Np , gde je $Np < N-1$), sistem će, obrnutim sledom, prikazati pravila koja su doprinela skor Sk , tj.

$$DS(DP=V_k ; MP_m=U_{mj}) = DS_{mjk}, \text{ gde } m = Np, Np-1, \dots, 1$$

Takodje, sistem će izložiti vrednosti praga E_k , margine M , i incidence I_k , definisane u odeljku 4.33 (videti Prilog D).

Istu proceduru konsultativni sistem će, na zahtev korisnika, sprovesti i za sledeću najverovatniju dijagnozu na završnoj listi, itd.

Pitanje sposobnosti konsultativnog sistema da opravda svoje rezonovanje predstavlja složeni problem kome je poklanjano srazmerno malo pažnje, mada konsultativni sistemi MYCIN [206] i CASNET [264] mogu da citiraju literaturu koja pruža podršku donetim dijagnozama ili preporučenoj terapiji.

Jedan aspekt ovog problema je pouzdanost ekspertovog znanja, kao i preciznost sa kojom je ovo znanje predstavljeno u sistemu. Takodje, medicinski eksperti često o jednom problemu imaju različita mišljenja i nije jasno da li bi sva takva mišljenja trebalo predstaviti u sistemu, ili bi trebalo insistirati na prethodnom konsenzusu. De Dombal ukazuje da treba imati rezervi prema "... neosnovanom ekspertnom mišljenu, ili (još gore) sistemima baziranim na 'pregledu literature'." [46]. Naše iskustvo pokazalo je da su ovakva upozorenja opravdana čak i kada su u pitanju standardni tekstovi u odredjenom medicinskom domenu. Naime, Hollander i McCarthy [91], pokušali su da daju precizna dijagnostička uputstva u slučaju ankilozirajućeg spondilitisa, za koja je, medjutim, teško naći potvrdu u praksi. Drugi aspekt problema opravdavanja rezonovanja od strane sistema odnosi se na sposobnost sistema da u procesu rezonovanja koristi dublje uzročne modele, koji bi mogli da objasne veze medju parametrima predstavljenim u bazi znanja sistema.

Specifična struktura konsultativnog sistema BELART omogućuje da pravila koja je sistem automatski formirao na osnovu baze podataka, budu opravdana upravo tim podacima.

Tako, prilikom izlaganja pravila u bilo kojoj od prethodno navedenih situacija, na ponovljeni upit korisnika, sistem će izložiti i izvor odgovarajućeg pravila. U slučaju

automatski formiranih pravila, to će biti relativna učestanost (procenat slučajeva) sa kojom se manifestacija (premise) javila kod odgovarajuće kategorije bolesti (zaključak). Ako je produkciono pravilo uneo ekspert, i pritom kao izvor naveo odgovarajuću jedinicu u literaturi (videti odeljak 4.22) sistem će je citirati.

4.6 EVALUACIJA

Obzirom da je cilj konstruktora savremenih konsultativnih ekspertnih sistema njihovo usavršavanje do nivoa na kome bi bila moguća rutinska upotreba ovakvih sistema u praksi, od posebnog značaja je da se na adekvatan način izvrši njihova evaluacija.

Spiegelhalter [222] i de Dombal [46] ističu da prilikom evaluacije sistema za podršku u medicinskom odlučivanju treba da se primene isti kriterijumi kao i kod evaluacije svakog novog postupka u medicini. Oni navode sledeća četiri kriterijuma za evaluaciju: Da li je bezbedan? Da li poboljšava postojeću situaciju? Ima li dugoročnih propratnih efekata? Kakav je učinak sistema i kako ga treba primenjivati radi optimalnih efekata?

Lusted je u [118] dao nekoliko opštih uputstava koja su do danas izdržala ispit vremena, a mogu se sumirati na sledeći način:

- a) Sistemi za računarsku podršku u dijagnostici, a ne za računarsku dijagnostiku;
- b) Sistemi moraju biti prihvatljivi za kliničare;

c) Od presudnog je značaja da ovakvi sistemi budu temeljno provereni i na adekvatan način pripremljeni;

d) Hardver treba da bude prilagodjen ovakvim sistemima i stvarnim problemima - a ne obrnuto;

e) Od presudnog je značaja testiranje sistema u realnim uslovima.

De Dombal [46] ovim uputstvima dodaje i naredna:

f) uloga računara mora se precizno definisati;

g) sistemi moraju biti prenosivi;

h) Izbor softvera je sporedan;

i) Eksperiment mora biti adekvatan kako bi omogućio valjanu evaluaciju;

j) Medicinsko znanje sadržano u programima ne sme imati grešaka.

Izgleda sasvim jasno da ni jedan od do sada konstruisanih računarskih sistema za podršku u medicinskom odlučivanju ne zadovoljava u potpunosti sve ove uslove. Međutim, jasno je takodje, da ova uputstva imaju veoma čvrstu osnovu i da će usmeravati kako sadašnje tako i buduće konstruktore ovakvih sistema.

Kako je već napomenuto, izvršeno je više evaluacija vodećih konsultativnih ekspertnih sistema u medicini [139], [274], [275], [76], [113]. Sistemi su dobili dosta dobrih ocena; INTERNIST-II, kao do sada najpotpuniji i najobimniji konsultativni sistem, ocenjen je kao "kvalitativno sličan kliničkom lekaru, ali inferioran u odnosu na lekarski konzilijum (case discussants)." [139]. Međutim, date su i zamerke, naročito u pogledu sposobnosti ovih sistema da rezonuju anatomske, ili

temporalno, što sve ukazuje na potrebu daljeg usavršavanja konsultativnih sistema.

Konsultativni ekspertni sistem BELART primenjen je u domenu reumatologije, za bolesti iz grupe tzv. seronegativnih artropatija.

Čitav spektar bolesti i stanja može se manifestovati simptomima i znacima u okviru lokomotornog aparata, odnosno unutrašnjih organa, ukazujući na sistemsku bolest vezivnog tkiva (promene na zglobovima u toku malignih hemopatija, urođenih poremećaja u razvoju vezivnog tkiva, metastaza okultnih tumora u raznim segmentima skeleta, specifični i nespecifični artritis i spondiloartritis, itd.).

Sa druge strane, često se susreće velika sličnost nekih početnih oblika zapaljenskih reumatskih bolesti, kao i prisustvo simptoma i znakova koji su kod njih ili karakteristični, ili sasvim podudarni.

Otuda, imajući u vidu da su problemi i ovako uprošćeno i uslovno postavljeni, lekari opšte prakse, a često i iz drugih medicinskih specijalnosti, suočeni su sa problemom dijagnoze i diferencijalne dijagnoze reumatskog, odnosno parareumatskog procesa. Pritom, pred njima je i problem procene uloge i značaja pojedinih simptoma, odnosno znakova relevantnih za ovu, ili onu bolest.

Nakon definisanja domena, pri čemu su definisana 24 osnovna parametra relevantna za domen seronegativnih artropatija (videti Prilog A), pristupilo se formiranju baze podataka. Podatke su sačinjavale istorije bolesti pacijenata bolnički lečenih na Institutu za reumatologiju u Beogradu, u periodu od

1965 do 1980 godine. U bazu su uneti podaci o 316 pacijenata koji su bolovali od ankilozirajućeg spondilitisa (AS), 212 pacijenta koji su bolovali od psorijatskog artritisa (PsA), 206 pacijenata obolelih od Reiter-ove bolesti (R) i 100 (ambulantno lečenih) pacijenata koji su patili od raznih degenerativnih reumatskih promena (DRP), mahom vezanih za kičmu. Svi ovi slučajevi bili su predmet ponovnog pažljivog razmatranja, i njihove dijagnoze su bile potvrđene pre konačnog unošenja u bazu podataka.

Konsultativni sistem je analizirao podatke iz baze i na osnovu njih automatski formirao pravila. Ova pravila, zajedno sa pravilima koja je uneo ekspert, integrisana su u fazi pripreme za konsultativni proces u jedinstvenu bazu znanja sistema.

Za proveru sistema (rezultati su prikazani u Tabeli 4.1), korišćene su istorije bolesti jedne kontrolne grupe od 140 pacijenata čiji podaci su takodje temeljno pregledani i ustanovljene su sledeće dijagnoze: 98 pacijenata patilo je od degenerativnih reumatskih promena (DRP), 24 od Reiter-ove bolesti (R), 11 od ankilozirajućeg spondilitisa (AS) i 7 od psorijatskog artritisa (PsA).

Prilikom konsultacije, u prvoj fazi, sistem je postavljao samo pitanja koja su se odnosila na bitne parametre nivoa $D=0.2$ (kako je to definisano izrazima (4.2.30 i (4.2.4) u odeljku 4.31). Pri tom u prvoj fazi nije uzet u obzir parametar "radiološki nalaz", čija je cena $C=4$. Nakon prve faze konsultacije sistem je sugerisao sledeću odluku: 77 pacijenata pati od DRP, 18 od R, 15 od AS, 8 od PsA. Za 22 pacijenta konsultativni sistem nije mogao da donese odluku, bilo zato što kod pacijenata ni jedna bolest nije bila dovoljno evidentna, tj.

Sk_kEk za svako k; bilo zato što razlika između skorova vodeće dve bolesti nije bila veća od margine M.

	ODLUKA	ODLUKA BELART-A		
	EKSPERTA	Faza 1.	Faza 2.	Faza 3.
ANKILOZIRAJUĆI SPONDILITIS	11	15	13	15
REITER-OVA BOLEST	24	18	22	23
PSORIJATSKI ARTRITIS	7	8	8	8
DEGENERATIVNE REUMATSKE PROMENE	98	77	84	94
BEZ ODLUKE	-	22	13	-
UKUPNO	140	140	140	140

Tabela 4.1

U sledećoj fazi uzet je u obzir i radiološki nalaz za sve pacijente, a takodje su srazmerno povećane i vrednosti Ek, čime je pooštren kriterijum o evidentnosti podataka. Ovoga puta konsultativni sistem sugerisao je sledeću odluku: 84 pacijenta pati od DRP, 22 od R, 13 od AS, 8 od PsA, dok za 13 i dalje nije mogao da donese odluku.

Da bi se i za ovih 13 pacijenata iz poslednje grupe dobila odluka, oslabljeni su uslovi (zahtev za marginom je ukinut, odnosno postavljeno je $M = 0$), a sistem je tada za dvoje od ovih pacijenata sugerisao R, za dvoje AS, a za devetoro DRP.

U ovom obliku, konačna odluka konsultativnog sistema bila

je 94-DRP, 23-R, 15-AS, 8-PsA. Pri tom je načinjena 1 lažno pozitivna dijagnoza DRP (bolesnik je imao Reiter-ovu bolest), 4-AS i 1-PsA (ovih pet bolesnika imali su degenerativne reumatske promene). Posmatrano sa reumatološkog aspekta, AS i PsA manifestuju se na veoma sličan način izuzev u pogledu promena na koži i lokalizacije artritisa. U slučaju psorijatskog spondilitisa, uvek postoji opasnost lažno pozitivne dijagnoze psorijatskog artritisa (nema evidentnih znakova aktivnog artritisa, ni promena na koži, a predominantni su znaci na kičmi) ili lažno pozitivne dijagnoze psorijatskog artritisa (jedновременna pojava ankilozirajućeg spondilitisa i psoriasis vulgarisa), ili lažno pozitivne dijagnoze obe bolesti (degenerativne reumatske promene, promene na koži, ili neuobičajena klinička slika).

Treba posebno napomenuti da su prilikom konsultacije korišćeni isključivo klinički parametri i radiološki nalaz, a da pritom nije korišćen ni jedan od tzv. patognomoničnih parametara. To ukazuje na potencijal koji bi ovakav sistem mogao da ima u trijaži reumatoloških pacijenata.

Sistem BELART evaluiran je i na jednoj grupi pacijenata sa specifičnim ciljem da se uporedi dijagnostička preciznost procedure za skorovanje kojom se koristi BELART sa preciznošću koju bi pod istim uslovima dala Bajesova procedura.

U tu svrhu korišćena je baza podataka koja se sastojala od slučajno izabranih istorija bolesti pacijenata lečenih na Institutu za Reumatologiju u Beogradu, čije su dijagnoze potvrđene. U prvom delu ovog eksperimenta korišćen je isti skup

za učenje kao u prethodnom primeru (čiji su rezultati prikazani u Tabeli 4.1).

Predpostavljeno je, dalje, da su relativne incidence jednake za sve četiri bolesti, tj. $I_k = P(D_k) = 0.25$, za $k=1,2,3,4$.

Primenom heuristike za izdvajanje bitnih parametara (Poglavlje 4.31), na nivou $D = 0.5$, nad skupom svih pravila, izdvojeni su parametri bitni za diferencijalnu dijagnozu za svaki od parova bolesti.

Izabran je jedinstven prag (videti Poglavlje 4.33), $E=1.1$.

Za vrednost margine (takodje definisane u Poglavlju 4.33) uzeto je $M=0$.

Za evaluaciju sistema upotrebljen je novi skup slučajno izabranih istorija bolesti pacijenata sa Instituta za Reumatologiju sa potvrđenim dijagnozama (po deset za svaku dijagnozu). Iz ovih istorija bolesti korišćeni su samo oni podaci koje je zahtevala primena BELART-ovih strategija rezonovanja. Po jednoj konsultaciji korišćeno je od 6 do 10 parametara (u proseku 8), od 23 osnovna parametra. Pritom se vodilo računa o ceni (videti Poglavlje 4.21), pa je tako samo u jednom slučaju korišćen podatak o radiološkom nalazu, a ni jednom o HLA B-27 testu, na primer.

Isti podaci na osnovu kojih je BELART mogao da sugeriše dijagnozu pod gore pomenutim uslovima, upotrebljeni su i za izračunavanje odgovarajućih verovatnoća pomoću Bajesove formule.

Rezultati ovih ispitivanja prikazani su u Tabeli 4.2. Brojevi označavaju koliko puta je određena dijagnoza (vrste u

tabeli) svrstana na prvo mesto. U prvoj koloni data je klasifikacija eksperata sa Instituta za Reumatologiju, prema kojoj se faktički i vršilo uporedjenje. U drugoj koloni prikazana je klasifikacija koju je dao BELART, a u trećoj Bajesova formula.

Kako se iz tabele vidi, BELART je sugerisao ispravnu dijagnozu kao prvu u 85 odsto slučajeva. Treba napomenuti da je u preostalim slučajevima (njih 6), ispravnu dijagnozu rangirao jednom kao treću i pet puta kao drugu. Ovo ukazuje da se prikladnijim izborom "sistemskih parametara" (posebno margine, koja je u ovom eksperimentu bila jednaka 0) može eventualno i poboljšati rad BELART-a.

	EKSPERT	BELART	BAYES
ANKILOZIRAJUĆI SPONDILITIS	10	9	7
PSORIJATSKI ARTRITIS	10	8	9
REITER-OVA BOLEST	10	8	8
DEGENERATIVNE REUMATSKE PROMENE	10	9	9
DIJAGNOSTIČKA TAČNOST	100	85	82.5

Tabela 4.2

Približno ista dijagnostička preciznost Bajesa i BELART-a donekle se može objasniti i time što BELART-ova procedura za skorovanje (izraz 4.2.7) kao sabirke ima članove koji su u stvari proporcionalni sa Bajesovom formulom, obzirom da je zbir u

imenuocu Bajesove formule konstantan. Procedura sabiranja ovih članova, koja se gledišta verovatnoće deluje nekorektno, u ovom slučaju ne samo da ima smisla, već i određenih prednosti o čemu će biti govora u diskusiji (glava 5).

Dobar uspeh ovih dveju procedura ukazuje na suštinsku vrednost koju poseduju BELART-ove strategije rezonovanja, u prvom redu heuristika za izdvajanje bitnih parametara. One naime omogućuju da se korišćenjem samo jedne trećine podataka o pacijentu, i to onih najdostupnijih, kako je ovde pokazano, postigne veoma visoka dijagnostička tačnost sistema.

Treba, međjutim, reći da je srazmerno veliki skup istorija bolesti koje su korišćene za obučavanje sistema učinio da su se retko javljale verovatnoće $P(M_{ij}|D_k)=0$, i time u mnogome doprineo dobroj dijagnostičkoj preciznosti Bajesove formule. Kao što se pokazalo u sledećem eksperimentu, ovakve vrednosti bitno pogoršavaju mogućnost dijagnostikovanja Bajesovom formulom.

Za ovaj eksperiment korišćena je grupa od 80 potvrđenih istorija bolesti - po 20 za svaku od četiri pomenute dijagnoze. Jedna polovina ovih istorija bolesti (po 10 za svaku dijagnozu) korišćena je za obučavanje sistema, a druga (takodje po 10 za svaku dijagnozu) za testiranje sistema. Ovaj eksperiment ponavljan je ukupno 10 puta, pri čemu su svaki put nanovo slučajno odabirane istorije bolesti koje bi služile za učenje i one koje bi služile za testiranje. Treba napomenuti da su u ovom slučaju dijagnostičke snage koje koristi BELART u proceduri skorovanja bile jednake odgovarajućim uslovnim verovatnoćama $P(M_{ij}|D_k)$, koje se koriste u Bajesovoj formuli.

Uobičajena korekcija koja je i u ovom eksperimentu bila

primenjena sastoji se u tome da se u slučaju kada su za fiksno i, j $P(M_{ij}|D_k)=0$ za svako k , takve vrednosti zamene sa 1, što ima za efekat da se odgovarajući proizvodi ne menjaju. U našem eksperimentu, međutim, broj "upotrebljenih" parametara kod kojih ni jedna od ovih verovatnoća nije jednaka 0 bio je mali. Po jednoj konsultaciji on se kretao od 1 do 5, u proseku 2.2. Ovo za efekat ima da je za svako k za koje je bar jedna od verovatnoća $P(M_{ij}|D_k)=0$ i aposteriorna verovatnoća $P(D_k|M_{ij})=0$. U ovoj situaciji Bajesove mogućnosti dijagnosticiranja pokazale su se kao veoma loše. U svakoj od dijagnostičkih kategorija primena Bajesove formule davala je od 2 do 9 puta (u proseku 5.3 puta) nulte verovatnoće svim alternativnim dijagnozama praktično ne uspevajući da donese nikakvu odluku. U preostalim slučajevima davala je tačnu dijagnozu u 1 do 6 slučajeva (u proseku 3.6) po svakoj dijagnostičkoj kategoriji.

Nasuprot Bajesovoj formuli BELART se pokazao kao veoma precizan i u ovakvim uslovima u kojima se obučavanje vrši sa veoma malim skupovima. Njegova dijagnostička preciznost kretala se između 6 i 10 slučajeva (u proseku 7.9) u svakoj dijagnostičkoj kategoriji.

I pored ohrabrujućih rezultata koje je konsultativni sistem pokazao, ostaje dosta aspekata kojima bi trebalo pokloniti posebnu pažnju i dati odgovarajuća poboljšanja.

Konsultativni sistem ne poseduje dublje anatomske znanje, ili znanje o patofiziološkim procesima koji se odvijaju u organizmu.

Takodje, sistemom nije obuhvaćena i vremenska

(temporalna) komponenta, koja bi u nekim drugim primenama mogla biti od većeg, ili presudnog značaja.

Konačno, neophodna je potpunija evaluacija sistema (kako u domenu reumatologije, gde bi trebalo obuhvatiti i druga oboljenja, tako i u drugim domenima, posebno u kliničkim uslovima.

Sistem je prvobitno bio razvijan u jeziku MUMPS-11, na računaru PDP-11/70. Njegova naredna verzija, međjutim, prilagodjena je primeni na mikro računaru APPLE-II, pri čemu je u više nivoa korišćen dBASE-II sistem za upravljanje bazama podataka. U ovoj verziji, prosečno vreme koje protekne između dva uzastopna pitanja koja postavi sistem iznosi oko tri minuta, a nešto manje ako pitanja postavlja korisnik. Prosečan tok konsultacije za jednog pacijenta iznosi između 20 i 30 minuta (7-10 pitanja), ne računajući eventualne zahteve korisnika da sistem objasni svoje rezonovanje. Za automatsko formiranje pravila, u fazi pripreme za konsultaciju, sistemu je bilo potrebno više od dva sata. Ova verzija ima svojih nedostataka, naročito u pogledu brzine izvršavanja programa, ali ukazuje na principijelnu mogućnost korišćenja mikro računara u ove svrhe.

5.0 D I S K U S I J A

U dosadašnjem izlaganju vodeći konsultativni ekspertni sistemi u medicini, a takodje i BELART, razmatrani su većim delom sa gledišta primene nauke o računarstvu. Posebno, razmatrani su pojedini važni problemi vezani za njihovu konstrukciju, odnosno, kako su rešavali probleme predstavljanja znanja, rezonovanja o domenu, transfera ekspertnog znanja i sposobnost objašnjavanja i opravdavanja rezonovanja.

U tom smislu, u glavi 4, pored korišćenih standardnih metodologija, formalno su definisani i prikazani pojedini postupci i heuristike kojima sistem BELART na nov način rešava neke od postojećih problema.

Znanje u sistemu BELART predstavljeno je standardnom metodom za predstavljanje znanja, u obliku tzv. produkcionih pravila ([179], [157], [10]). Struktura parametara, koji preko svojih pojedinačnih vrednosti, odnosno neposredno, figurišu kao entiteti u produkcionim pravilima, je medjutim, kako se to vidi iz poglavlja 4.21, bogatija. Time je omogućeno da se pored znanja predstavljenog u obliku produkcionih pravila, u sistemu predstavi i znanje koje je u većoj meri specifično, pa dakle i značajno za rezonovanje o domenu medicinskog odlučivanja. Tako je, na primer, uveden pojam cene (da se ustanovi specifična vrednost odredjenog parametra), posebno su izdvojene negativne vrednosti parametara (kakve su nepostojanje patologije, ili negativan ishod testa), mogućnost ispitivanja pojedinih parametara u funkciji medjudijagnoza, i slično.

Jedna od najvećih teškoća u vezi sa izgradnjom ekspertnih

sistema koju je Feigenbaum označio kao "usko grlo" [10], sastoji se u ograničenoj sposobnosti eksperata da eksplicitno formulišu svoje znanje o domenu. Razrešenje ovog problema Michie [136], Quinlan [185] i drugi autori, a i sam Feigenbaum [277], vide u izradi sistema koji bi bili sposobni da zaključuju na osnovu primera, koji su lakše dostupni od eksplicitno i precizno formulisanog znanja. Ovo je od posebnog značaja za oblast medicinskog odlučivanja, gde se ogromno znanje krije u više-manje dobro sistematizovanim istorijama bolesti velikog broja pacijenata.

Osnovna ideja u konstrukciji sistema BELART je da omogući integrisanje znanja koje je u stanju da eksplicira ekspert sa onim koje je sadržano u istorijama bolesti u jedinstvenu bazu znanja [279]. Ova funkcija sistema ostvarena je na način formulisan u poglavlju 4.23. Sistem naime koristi relativne učestanosti pojave manifestacija sa medjudijagnozama, odnosno krajnjim dijagnozama, za ocenu dijagnostičkih snaga asocijacija između odgovarajućih entiteta, i na osnovu toga, na prirodan način formuliše odgovarajuća produkciona pravila.

Obzirom na neke teoretske probleme, kao i računsku složenost standardnih statističkih metoda za izdvajanje bitnih parametara od onih koji su manje bitni, u BELART-u je korišćena heuristika formulisana u poglavlju 4.31. Ova heuristika, kojom se kao bitan izdvaja onaj parametar koji u svojstvu premise sa bitno različitim dijagnostičkim snagama daje različite zaključke (dijagnoze), u znatnoj meri je bliska i načinu razmišljanja lekara. I, mada primena BELART-a u reumatologiji predstavlja

"degenerisani slučaj", kako ga je definisao Pople [180], ova heuristika ima i svoj opštiji značaj, i mogućnost primene u kontekstu "stezača", [180], takodje opisanom u poglavlju 3.22.

Jedan od osnovnih zahteva koji konsultativni sistemu u medicini treba da zadovolje je i sposobnost da predstavljeno znanje restrukturiraju na način adekvatan problemu koji rešavaju [234]. Ovom pitanju u BELART-u je poklonjena posebna pažnja, a postupak kojim se rešava, razmotren je u poglavlju 4.32. Naime, ovim postupkom baza znanja sistema strukturiše se na takav način da sistem u toku konsultacije korisniku postavlja ona pitanja koja imaju najveću moć diskriminacije medju dijagnozama koje su u tom trenutku najverovatnije, odnosno pitanja koja se odnose na parametre bitne za vodeće dijagnoze. Drugim rečima, ovaj postupak omogućuje da se sistem adaptira problemu koji rešava.

Konsultativni sistem BELART pruža korisniku mogućnost neposredne komunikacije u svim fazama rada, bez potrebe za programerom kao posrednikom. Uz to, sistem omogućuje korisniku da modifikuje ne samo uneta produkciona pravila, već i "sistemske parametre" (pragove, incidence, margine, itd.), čime može da postigne bolje "performanse" konsultativnog sistema. Ovo ujedno ukazuje i na obrazovnu funkciju koju bi sistem mogao da ima.

+ + +

Kako je već istaknuto u glavi 2, značajna uloga koju kod različitih metodologija odlučivanja igra Bajesov princip ukazuje na jedan dublji značaj koji ovaj princip ima. Ovo je posledica

optimalnosti koja je u odredjenom smislu svojstvena bajesovskim metodama zaključivanja.

Primena bajesovskih metoda, medjutim, povlači za sobom čitav niz važnih pitanja od teorijskog i praktičnog značaja.

Bajesova teorema može biti u jednoj od ekvivalentnih formi:

$$P(D_k|M) = \frac{P(M|D_k) P(D_k)}{P(M)} \quad (5.1)$$

$$= \frac{P(M|D_k) P(D_k)}{\sum_j P(M|D_j) P(D_j)} \quad (5.2)$$

$$\propto P(M|D_k) P(D_k) \quad (5.3)$$

gde se proporcija u (5.3) može uzeti u odnosu na fiksno M . Ovde je M događaj, a $D_1, D_2, \dots$, je skup događaja takvih da može da se dogodi jedan i samo jedan od događaja D_k ($k=1, 2, \dots$). Ideja je da se na osnovu "poznatih", ili a priori verovatnoća $P(M|D_k)$, $P(D_k)$, $P(M)$, izračuna "nepoznata", a posteriori verovatnoća $P(D_k|M)$.

U suštini, apriorne verovatnoće moguće je interpretirati na tri načina:

- a) kao raspodele učestanosti;
- b) kao normativne, ili objektivne predstave onoga što bi bilo racionalno verovati o parametru, obično u situaciji kada o tome nemamo znanja;
- c) kao subjektivnu meru onoga što odredjena individua u stvari veruje.

U teorijskom smislu najmanje problematična bila bi

interpretacija apriornih verovatnoća kao raspodela učestanosti. U praksi, međutim, do ovih podataka je veoma teško doći. U primeru reumatoloških oboljenja na kojima je primenjen sistem BELART, posmatrano je 23 parametra manifestacija, pri čemu je svaki od njih u proseku imao po 4,1 mogućih vrednosti. Događaj M, koji predstavlja "sveukupnost" manifestacija kod jednog pacijenta, mogao bi dakle imati $>4^{23} >10^{13}$ mogućih vrednosti.

Sasvim je jasno da ova činjenica predstavlja prepreku da se dodje do apriornih verovatnoća ne samo pomoću relativnih učestanosti, već i na druga dva načina. Takodje, interpretacija događaja Dk kao potpunog skupa krajnjih dijagnoza koje se međusobno isključuju, sem u najtrivijalnijim slučajevima, u medicini nije opravdana.

Podrobnu diskusiju u vezi sa primenom Bajesove metodologije u domenu medicinske dijagnostike dali su Szlovits i Pauker [238].

U teorijskom smislu, tzv. princip bajesovske koherentnosti, koji podrazumeva manipulisanje svim veličinama kao verovatnoćama, dakle primenom osnovnih zakona verovatnoće, a posebno Bajesove teoreme, povlači određene implikacije. Naime, ako zaključci zavise od metoda uzimanja uzorka, ili pravila zaustavljanja prilikom prikupljanja podataka, princip bajesovske koherentnosti je narušen. (Ponašanje lekara dijagnostičara u realnim situacijama po pravilu je upravo takvo.) Takodje, opredeljenje za princip bajesovske koherentnosti zahteva žrtvovanje jednog drugog osnovnog statističkog principa - principa ponovljenog uzimanja uzorka. Ovo stoga što princip

bajesovske koherentnosti predstavlja u izvesnom smislu zahtev za samo-konzistencijom. Ali, time se ne pruža nikakva garancija da su dobijeni rezultati u skladu sa realnim sistemom koji se proučava. Na drugoj strani, princip ponovljenog uzimanja uzorka je upravo usmeren na otkrivanje odnosa izmadju podataka i modela realnog sistema.

Ove probleme temeljno obradjuju Cox i Hinkley, [36].

Neadekvatnost bajesovskih metoda za primenu u realnim situacijama uticala je na to da je više autora nastojalo da formalizuje alternativne metode zaključivanja u uslovima neizvesnosti, [276], [74], [Quinlan].

Procedura formiranja skorova kod BELART-a, data izrazom (4.2.7), samo u izvesnoj meri podseća na Bajesovu teoremu.

Naime, vrednost $DS(DP=V_k ; MP_i=V_{ij})$ može se, prema definiciji datoj u odeljku 4.23, shvatiti kao zaokrugljena vrednost uslovne verovatnoće $P(M_{ij} | D_k)$, dobijene na osnovu njene relativne učestanosti. Treba takodje napomenuti da se u (4.2.7) ne radi o "sveukupnoj" manifestaciji (dogadjaj M), već o "pojedinačnoj" manifestaciji j -te vrednosti i -tog parametra (dogadjaj M_{ij}).

Vrednost I_k , incidence (relativne u odnosu na domen) bolesti k , može se interpretirati kao ocena verovatnoće $P(D_k)$. Ova ocena mogla je biti dobijena na bilo koji od pomenuta tri načina: kao subjektivna procena medicinskog eksperta, kao "objektivna" vrednost (na osnovu relevantne medicinske literature), ili na osnovu podataka o relativnoj učestanosti.

U odnosu na Bajesovu formulu (5.1), nedostaje i vrednost $P(M)$ (koja inače ne zavisi od k i može se smatrati konstantom),

kojom bi se izraz na desnoj strani jednakosti (4.2.7) normirao.

Izbor ovakve procedure za formiranje skorova određen je donekle strukturom i strategijama rezonovanja sistema BELART. U toj meri predstavlja i nastojanje sistema da modelira način rezonovanja medicinskog eksperta, kao i da koristi informacije u obliku koji je u praksi najčešće dostupan.

Naime, medicinska istraživanja i rezultati iz prakse najčešće su sumirani u obliku ocena za $P(M_{ij}|D_k)$, odnosno $P(D_k)$.

Pokušaj da se M_{ij} ("pojedinačna" manifestacija) zameni na odgovarajućim mestima u uslovnim verovatnoćama sa M ("sveukupna" manifestacija), i time izbegne potreba za uvođenjem pretpostavke o nezavisnosti manifestacija, kako je to već istaknuto ranije u tekstu, suočava se za sada sa nepremostivim preprekama u praksi.

Istraživanja u oblasti EDA (Exploratory Data Analysis), analize podataka u cilju otkrivanja složenijih veza [281], ili temporalnih zavisnosti [17], otvaraju mogućnosti za dalje usavršavanje sistema. To, međutim, povlači i neke metodološke probleme sa kojima se posebno suočavaju konstruktori sistema kod kojih je znanje predstavljeno u obliku "okvira" (videti poglavlje 3.2). Naime, tada se postavlja pitanje adekvatne definicije "rastojanja", odnosno mere u kojoj se konkretni slučaj razlikuje od onog opisanog "okvirom".

Verovatnosna interpretacija procedure za formiranje skorova (desna strana u(4.2.7)), je dakle sledeća. (Uz naglašeno odstupanje vrednosti DS od odgovarajuće uslovne verovatnoće, kao posledice zaokrugljivanja.)

$$\sum_{i,j} P(M_{ij}|D_k) P(D_k) \quad (5.4)$$

odnosno,

$$\sum_{i,j} P(M_{ij}|D_k) \quad (5.5)$$

Uz pretpostavku nezavisnosti manifestacija, (5.3) postaje

$$\prod_{i,j} P(M_{ij}|D_k) P(D_k) \quad (5.6)$$

pa veličine koje se sumiraju u (5.4), odnosno (5.5), predstavljaju članove proizvoda u Bajesovoj formuli. Procedura sabiranja ovih članova, koja sa gledišta verovatnoće deluje nekorektno, u ovom slučaju ne samo da ima smisla, već i određenih prednosti:

a) Skorovi za svaku dijagnozu posle svakog koraka predstavljaju monotono neopadajuće nizove. Ova osobina omogućuje primenu pravila zaustavljanja (prag i margina);

b) Verovatnoće koje daje Bajesova formula često veoma drastično rangiraju bolesti, pripisujući vodećoj dijagnozi 10, 100, ili 1000 puta veću verovatnoću, što teško da u realnosti ima opravdanja. Ovo naročito ima negativne efekte kada je sugerisana dijagnoza pogrešna, pa se time i ne dopušta mogućnost da korisnik uzme u obzir pravu dijagnozu. Situacija je još drastičnija ako su za fiksno k samo neke od verovatnoća $P(M_{ij}|D_k)=0$. (Kada su sve ove verovatnoće jednake nuli manifestacija M_{ij} se, po dogovoru, ne uzima u obzir.) Tada su i odgovarajuće aposteriorne verovatnoće $P(D_k|M_{ij})=0$, bez obzira na moguću visoku evidenciju koju ostali podaci pružaju u korist dijagnoze D_k .

Samo kada su sve vrednosti $P(M_{ij}|D_k)>0$ (što u praksi ne mogu da garantuju ni srazmerno veliki skupovi podataka za

učenje), Bajesova formula daje rangiranje dijagnoza koje je poredivo sa procedurom skorovanja.

Kao posledica sumiranja postoji mogućnost da skorovi S_k u (4.2.7) prelaze vrednost 1, što je regulisano zadavanjem vrednosti pragova E_k (odjeljak 4.33).

Ova činjenica nosi u sebi potencijalnu opasnost da bi prisustvo "manje relevantnih" manifestacija moglo proizvoljno da poveća vrednosti skorova za pojedine bolesti i na taj način neadekvatno "pruži evidenciju" o prisustvu tih bolesti. Ovo je problem za koji bi svakako moralo da se nađe odgovarajuće rešenje u slučaju da BELART bude primenjen u domenima koji se sastoje od više različitih grupacija bolesti. No, kako je već ukazano u odeljku 4.31, procedura za izdvajanje bitnih parametara, kojom se redukuje potencijalno velika baza znanja na onu koja će se efektivno koristiti, mogla bi ovde da bude primenjena. Njena uloga bi bila da izdvoji "stezače" (opisane u odeljku 3.22 o sistemu INTERNIST/CADUCEUS, [180]), i na taj način omogući formiranje odgovarajuće hijerarhijske strukture, kojom bi se rešavali problemi u ovakvim složenim domenima. U ovom trenutku, međjutim, kada je primena BELART-a ograničena na jednu grupaciju bolesti, takva opasnost praktično ne postoji.

Kao što je već ranije napomenuto, jedna od osnovnih prepreka za primenu bajesovske metodologije je činjenica da se često kod istog pacijenta mogu jednovremeno da jave i više bolesti. To je slučaj i u relativno ograničenim domenima, pa i u domenu reumatologije na koji je primenjen BELART. Naime, degenerativne reumatske promene mogu se javiti istovremeno sa nekom od bolesti iz grupe seronegativnih artropatija. Mogućnost

da sistem sugeriše više od jedne dijagnoze dozvoljena je na taj način što ekspert bira odgovarajuće vrednosti margine M , (odeljak 4.33), kojom se reguliše zahtevana razlika skorova izmadju vodeće i prve sledeće dijagnoze.

+ + +

Drugi važan aspekt konsultativnih ekspertnih sistema u medicini, donekle obradjen u poglavljima koja su se odnosila na evaluaciju ovih sistema, je aspekt njihove primene. Mada je već ranije naglašeno da je praktično zanemariv broj konsultativnih ekspertnih sistema koji se rutinski koriste u kliničkoj praksi, pitanje primene ovih sistema ostaje jedno od suštinskih. Ovo je i u tesnoj vezi sa svrsishodnošću istraživanja i naporima istraživača u ovoj oblasti, bez obzira hoće li ovi napori (u tom smislu) uroditi plodom u ovoj, ili nekoj sledećoj generaciji ovakvih sistema.

Kao što je to istaknuto u poglavlju 4.6, primena BELART-a u domenu reumatologije dala je dobre rezultate. Visok stepen dijagnostičke preciznosti koju je pokazao sistem mogao bi ipak da se u nekoj meri pripíše i mogućem visokom stepenu homogenosti podataka. Otuda bi bilo veoma poželjno da sistem bude testiran i na istorijama bolesti iz nekog drugog izvora (idealno - na stvarnim slučajevima, dakle u kliničkoj praksi). No, ovo je problem sa kojim se suočava i većina drugih sistema.

AI/RHEUM, sistem o kome je bilo govora u poglavlju 3.25, već više godina zajednički razvijaju stručnjaci Nacionalne medicinske biblioteke američkih Nacionalnih instituta za zdravlje

(NIH) i Univerziteta u Misuriju, uz saradnju stručnjaka sa Univerziteta Rutgers i više reumatoloških institucija, kako u SAD tako i van njih [100], [115], [278]. Saradnja pomenutih reumatoloških institucija ogleda se i u tome da u svrhu obrade, odnosno testiranja sistema upućuju i odabrane istorije bolesti svojih pacijenata. Sistem se dalje razvija, proširuje se baza znanja o reumatološkim oboljenjima i planira ugradnja novih funkcija [278], a dijagnostička preciznost je porediva sa BELART-ovom [100]. Pravo poredjenje dijagnostičke preciznosti ova dva sistema, međutim, bilo bi moguće tek testiranjem na istom, dovoljno velikom skupu reumatoloških pacijenata. Planirana mikroračunarska implementacija sistema AI/RHEUM i BELART-a [200] na kompatibilnom računaru (PC-AT) biće korak dalje u tom pravcu.

Slična je situacija i sa sistemom ASISTENT, koji razvijaju istraživači sa Fakulteta za elektrotehniku i Instituta "Jožef Stefan" u Ljubljani. Planirano je da ovaj sistem, o kome je bilo reči na kraju glave 3, bude ne samo implementiran na istom tipu mikroračunara, već i primenjen u domenu reumatologije. Tada će postojati pravi uslovi za već duže vremena planirano poredjenje sistema ASISTENT i BELART.

Do tada, ostaje mogućnost da se ovi sistemi medju sobom porede (pored pomenute dijagnostičke preciznosti), po razumljivosti i pogodnostima koje u toku komunikacije pružaju korisniku, brzini rada, i drugim osobinama, koje, kao i one ranije razmatrane za sve sisteme prikazane u glavi 3, kao i BELART, manje ili više neposredno proističu iz načina njihove konstrukcije.

U tom smislu potrebno je da se naglasi da, za razliku od

BELART-a koji poseduje sopstvenu konstrukciju, AI/RHEUM kao svoju osnovu neposredno koristi sistem EXPERT, [100], [115], [278], prikazan u poglavlju 3.25. (U sistem ASISTENT, [102], [150], autori su pak ugradili svoju, poboljšanu, varijantu algoritma ID3 Quinlan-a [184].)

Nadgradnju AI/RHEUM-a predstavlja dodatno prikazivanje reumatoloških kriterijuma u obliku tablica, koje donekle imaju strukturu "okvira" [141], [228], ali ne u pravom smislu, jer sistem predstavlja znanje i rezonuje o domenu putem mehanizma sistema EXPERT, [278]. Ranija razmatranja "standardnih" kriterijuma u reumatološkoj literaturi [91], pokazala su njihovu vrlo ograničenu praktičnu vrednost, i uticala na to da se prilikom konstrukcije sistema BELART opredeli za druga rešenja.

6.0 Z A K L J U Č A K

Konsultativni ekspertni sistem prikazan u tezi razvijen je sa namerom da pruža podršku u kliničkom odlučivanju. U radu je takodje pokazano da se ovaj složeni intelektualni proces primenom metoda i tehnika veštačke inteligencije može sa uspehom mehanizovati i preneti na računar.

Više komponenti u procesu medicinskog odlučivanja modelovano je u okviru konsultativnog ekspertnog sistema BELART originalnim heurističkim postupcima. Sistem takodje funkcioniše i kao informacioni sistem, a njegova baza znanja integriše znanje medicinskog eksperta i podatke iz kliničke prakse.

Razvoj sistema otpočeo je 1980 godine, sa ciljem da se ispita mogućnost pružanja konsultativne pomoći lekarima prilikom dijagnostikovanja reumatoloških oboljenja iz grupe tzv. seronegativnih artropatija. Istraživanja su rezultat zajedničkog rada dve institucije Univerziteta u Beogradu: Centra za multidisciplinarne studije i Instituta za reumatologiju. Istraživanja su dala zadovoljavajuće rezultate, a poslužila su i kao osnov za konstruisanje konsultativnog ekspertnog sistema, nezavisnog od domena primene, koji je dobio ime BELART.

Da bi se olakšala komunikacija, razvijen je interfejs na prirodnom jeziku, koji omogućuje lekaru-ekspertu da sam definiše svoj domen. Ekspert definiše domen tako što daje izbor parametara

koji su relevantni za domen, kao i vrednosti koje ovi parametri mogu da imaju, njihove formate i ograničenja. Sve ove elemente sistem će automatski proveravati prilikom unošenja podataka o pacijentima.

Sve ovo omogućuje da se formira baza podataka i, uz modul za pregled ovih podataka, predstavlja standardan informacioni sistem.

Sa druge strane, konsultativni sistem BELART omogućuje lekaru-ekspertu da u sistem unese i svoje znanje o asocijacijama medju entitetima u bazi znanja u obliku produkcionih pravila.

Znanje o specifičnom medicinskom domenu predstavljeno je na taj način da su manifestacije povezane sa svakom od kategorija bolesti (kao i medju sobom) asocijacijama različite snage. To je izraženo decimalnim brojem izmedju 0 i 1 (pri čemu 0 označava da se manifestacija ne pojavljuje u slučaju konkretne bolesti, dok 1 označava da je ona patognomonična za tu bolest).

Jedan deo ovog znanja sistemu prenosi ekspert, odražavajući time teoretske kriterijume i praksu koju primenjuju specijalisti u okviru konkretnog medicinskog domena, kao i neka svoja lična iskustva, odnosno uverenja. Tipično, ovo znanje dato je u obliku produkcionih, ili tzv. AKO-TADA pravila.

Pojam "cene" procedure kojom se može ustanoviti da li je određena manifestacija prisutna, ili nije, takodje je uvedena u bazu znanja. "Skupe" manifestacije su one koje zahtevaju invazivne, odnosno skupe ili dugotrajne procedure, dok su "jevtine" one manifestacije koje se mogu neposredno uočiti. Tako

ekspert u toku definisanja domena svakoj manifestaciji pridružuje i njenu "cenu".

Istraživači u oblasti veštačke inteligencije i nauke o saznanju uočili su kod ljudi-eksperata nesposobnost da na sistematski način izlože svoje ekspertno znanje, i nazvali je posebnim imenom: "Feigenbaum-ovo usko grlo". Da bi se donekle prevazišao taj problem, konsultativni sistem BELART originalnim postupkom nastoji da automatski formira pravila o asocijacijama medju entitetima u bazi znanja i oceni snagu tih asocijacija u slučajevima kada eksplicitno medicinsko znanje o tome ne postoji, ili nije zabeleženo. Sistem to čini analizirajući pridruženu bazu podataka o pacijentima.

Pošto je na ovaj način formirana baza znanja, sistem aktivira samosvojnu heurističku proceduru za izdvajanje bitnih parametara (manifestacija) za pojedine bolesti, odnosno diferencijalne dijagnoze. Pokazalo se da je ova procedura veoma efikasna u praksi i znatno manje računski složena nego odgovarajuće standardne metode multivarijatne statistike.

Nakon unošenja početnih podataka o pacijentu za koga se traži konsultativna pomoć, sistem BELART formira radnu hipotezu o mogućoj bolesti (ili više njih). Sistem potom usmerava dalji tok prikupljanja informacija, postavljaajući najpre ona pitanja o pacijentu koja će imati najveću moć diskriminacije medju alternativnim dijagnozama. Takodje, najpre će biti postavljana "jevtinija" pitanja. Na taj način sistem se adaptira problemu koji rešava, odnosno svoju bazu znanja restrukturiše na način adekvatan situaciji sa kojom je suočen.

Korisnik sistema ima mogućnost da kvantifikuje svoje

uverenje o tome da li je, i u kojoj meri izvesna manifestacija prisutna kod pacijenta. Model Dempster-Shafer-a prilagodjen je i primenjen, kako bi se regulisalo propagiranje informacije u okviru sistema.

Podaci se potom evaluiraju i formiraju se skorovi za svaku od dijagnostičkih kategorija. Sistem završava konsultativni proces sugerišući najverovatniju dijagnozu kada podaci pružaju za to dovoljnu evidenciju. Inače, ili kada se ne može izdvojiti samo jedna takva bolest, sistem će sugerisati primenu dodatnih, "skupljih" testova. Korisnik pri tom ima mogućnost da modifikuje neke od parametara sistema, kako bi ponašanje sistema prilagodio zahtevima specifičnog medicinskog domena i postigao najbolje rezultate.

U slučaju da se u toku konsultacije ukaže potreba da nova bolest bude uključena u radnu hipotezu, sistem će to učiniti i nastaviti da postavlja pitanja koja su relevantna za takvu novu situaciju.

Konsultativni sistem BELART u stanju je takodje da "objasni" svoje odluke prikazujući delove svoje baze znanja koji su korišćeni u toku procesa konsultacije.

Dosad najznačajnija i najobimnija primena konsultativnog ekspertnog sistema BELART je u oblasti reumatologije. U bazu podataka uneti su podaci o preko 800 pacijenata bolnički lečenih u Institutu za reumatologiju u Beogradu. Pri tom su ovi podaci pažljivo provereni, a dijagnoze potvrđene.

Sistem je testiran na kontrolnoj grupi od 140 pacijenata, takodje lečenih u Institutu, i pri tom pokazao dijagnostičku preciznost u preko 90 posto slučajeva. Treba naglasiti da tom

prilikom nisu korišćeni skupi, odnosno patognomonični testovi. Ova činjenica ukazuje na to da bi se usavršene verzije ovakvog sistema mogle ubuduće koristiti u obrazovanju, ili od strane lekara opšte prakse, u zdravstveno nedovoljno opsluženim regionima, gde su pomoć specijaliste, ili složeni patognomonični testovi nedostupni.

Sistem je prvobitno bio razvijan u jeziku MUMPS-11, na računaru PDP11/70, ali je njegova naredna verzija prilagodjena primeni na mikro računaru Apple-II.

Planira se i dalja evaluacija i usavršavanje konsultativnog ekspertnog sistema BELART, kao i njegova primena na druge, u prvom redu medicinske, domene (na primer, u oblasti hematologije).

7.0 SUMMARY

A consultation expert system has been presented, developed to support clinical decision making. It functions also as a patient information system and its knowledge base integrates medical expert knowledge and data from clinical practice. The system is a domain-independent one, but it has stemmed from a system originally designed to support clinical decisions in rheumatology.

Over more than 25 years various approaches to computer-assisted medical decision making were investigated, ranging from purely probabilistic to purely logical ones. However, most of them were valid for very limited domains only, since the decision process is carried out in rather inflexible, rough and unrealistic formal frameworks.

The fact is that experts are able to solve complex problems in their domains better and faster than computer. Medical experts, undoubtedly, to a certain degree employ the elements of probability in addition to categoric reasoning; but their capability to determine the proper ratio of the former to the latter, and to restructure their knowledge in order to apply it in a given situation and in the best manner, is even more important.

A number of recently developed consultation systems

employ methods and techniques of artificial intelligence, aimed to assume the reasoning of medical experts, thus making the best use of logic and probability, knowledge and experience.

The system presented has been under development since 1980 and its original task was to provide decision support to physicians dealing with diseases from a group of so-called seronegative arthropaties. The research was a joint effort of the two institutions of the University of Belgrade: Center for Multidisciplinary Studies, and the Institute of Rheumatology. It has given satisfactory results, but it has also led to a design of a domain-independent expert consultation system which was given a name BELART.

Throughout the text, running examples are taken from the application of the system in rheumatology.

To facilitate communication, a natural language interface was developed, letting the expert clinician define his domain himself. Expert defines his domain by selecting parameters relevant to the domain, and also defines the values they could take on, their formats and constraints. This is also going to be checked upon at the time of patient data collection.

All these allow for a data base formation and along with the data review module make up for a standard patient information system.

Also, BELART consultation system allows the expert clinician enter his knowledge about associations between entities in the knowledge base in a form of production rules.

Knowledge about the specific medical domain is represented in such a way that manifestations are linked with each of the disease categories (and among themselves) by associations of various strengths. This is expressed by decimal numbers between 0 and 1 (0 meaning that manifestation does not occur with the particular disease, and 1 that it is pathognomonic for the disease).

Some of this knowledge is provided to the system by the expert, reflecting the theoretical criteria and practice unanimously accepted by medical domain specialists, and some of his own experience and/or beliefs. Typically, it is given in the form of so-called IF-THEN rules.

The notion of "cost" (of establishing whether a specific manifestation is present or not) is also introduced in the knowledge base. Manifestations range from those requiring invasive and/or expensive and lengthy procedures in order to be established ("most costly"), to those readily observable ("least costly"). So, the expert assigns "cost" to each manifestation at the time he is defining his domain.

Among the people doing research in artificial intelligence and cognitive science the inability of human experts to say how they are doing what they are experts in is being recognized and usually referred to as so-called "Feigenbaum's bottleneck". So, on the other hand, analyses performed on a clinical data base, to which the consultation system is linked, provide the knowledge about associations between entities in the knowledge base and the estimates of their strength in cases where no explicit medical knowledge is existing and/or recorded.

After the knowledge base is so formed the system employs a heuristic procedure to extract the key features (manifestations) for particular diseases, i.e. differential diagnoses. The procedure has proven to be efficient in practice and less computationally complex than the corresponding methods of multivariate statistics.

After initial data are entered about the patient for whom consulting help is needed, BELART system establishes the working hypothesis of the possible disease(s) encountered. It takes on by directing the further information-gathering procedure. The system proceeds by first asking questions about the patient that would discriminate the most among the alternative diagnoses. Also, the "less costly" questions are asked first.

The user has a possibility of quantifying his belief pertaining to the certainty of presence of a particular manifestation. A modification of Dempster-Shafer model is being employed in dealing with propagation of information through the system.

The data are so evaluated and scores are formed for each disease category considered. The system terminates consultation by suggesting the most likely diagnosis when data provide sufficient evidence for it (score above the predetermined threshold). Otherwise, or in cases when no single diagnosis can be reached by a predetermined margin, BELART would suggest performance of the additional, "more costly" tests. (It is at the user's disposal to modify some of this "system parameters" in order to adapt system's behaviour to meet the requirements of a specific medical domain and achieve the best results.)

In case that during a course of consultation a need to include a new disease entity in the working hypothesis becomes evident, the system would do so and continue with asking questions relevant to this new situation.

Also, BELART system is capable of "explaining" its decisions by displaying portions of its knowledge base that were used in the consultation process.

Application of the BELART system in rheumatology has been by far the most elaborate one. Data on over 800 patients hospitaly treated at the Institute of Rheumatology in Belgrade, whose cases were thoroughly reviewed and diagnoses confirmed were entered in the data base.

The system was tested on another group of 140 patients treated at the Institute, showing the overall diagnostic accuracy of over 90%. It has to be noted that no expensive and/or pathognomonic tests have been used by BELART system in the consultation process, thus providing evidence for its possible future use in educational environments, or by general practitioners in medically underserved areas, where no specialist consultation, or more complex, pathognomonic tests are available.

The system was originally developed in MUMPS-11 language on a PDP 11/70 computer, but its successor version has been addapted for use on a micro computer (Apple-II).

Further evaluation of BELART expert consultation system, and its applications to medical domains other than rheumatology are also considered.

P R I L O G A

(Na osnovnom nivou, odnosno na početku rada, BELART se korisniku javlja sledećom porukom. Korisnik može da se odluči za jednu od četiri navedene funkcije sistema (videti i poglavlje 4.1), ili za kraj rada sa sistemom.)

B E L A R T - KONSULTATIVNI EKSPERTNI SISTEM

"BELART" je namenjen prvenstveno za pružanje konsultativne pomoći u medicinskom odlučivanju.

Sastoji se od više modula koji omogućuju sledeće funkcije sistema:

- <1> Definisanje domena
- <2> Formiranje baze podataka
- <3> Priprema sistema za konsultaciju
- <4> Konsultativni proces

Pritisnite odgovarajući broj ili "K" za kraj rada:1

DEFINISANJE DOMENA

(videti takodje poglavlje 4.21)

Upisite naziv domena:REUMA

Naziv parametra:IME

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):I

Vrsta parametra - tekst ili broj (T/B):T

Najveća dužina teksta:30

Cena parametra (od 1 do 5):1

Da li ima još parametara? (D/N):D

Naziv parametra:PREDMET IZ GODINE/BROJ

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):I

Vrsta parametra - tekst ili broj (T/B):T

Najveća dužina teksta:7

Cena parametra (od 1 do 5):1

Da li ima još parametara? (D/N):D

Naziv parametra:ZANIMANJE

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):D

Cena parametra (od 1 do 5):1

Ako postoji mogućnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije), "NEGATIVAN" (nalaz) i slično), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju. Ako ne postoji takva mogućnost, pritisnite <RETURN>:

Tekst za kategoriju br. 1:RADNIK

Da li ima još kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 2:SLUŽBENIK

Da li ima još kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 3:ZEMLJORADNIK

Da li ima još kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 4:OSTALO

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:POL

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):D

Cena parametra (od 1 do 5):1

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije), "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju

Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:

Tekst za kategoriju br. 1:MUSKI

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 2:ZENSKI

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:NASLEDJE

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):D

Cena parametra (od 1 do 5):1

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije), "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju

Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:NEMA

Tekst za kategoriju br. 1:IMA U PORODICI

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:DOBA POJAVE BOLESTI

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):D

Cena parametra (od 1 do 5):1

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije), "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju

Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:

Tekst za kategoriju br. 1:1 DO 19 GOD.

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 2:20 DO 29 GOD.

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 3:30 DO 39 GOD.

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 4:PREKO 40 GOD.

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:POJAVA BOLA

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):D

Cena parametra (od 1 do 5):2

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije), "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju

Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:

Tekst za kategoriju br. 1:NISKO U KRSTIMA

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 2:U SLABINSKOM DELU
 Da li ima jos kategorija? (D/N):D
 Tekst za kategoriju br. 3:U LEDJIMA
 Da li ima jos kategorija? (D/N):D
 Tekst za kategoriju br. 4:U VRATU
 Da li ima jos kategorija? (D/N):D
 Tekst za kategoriju br. 5:U PREDELU KUKOVA
 Da li ima jos kategorija? (D/N):D
 Tekst za kategoriju br. 6:KUKOVI - BUTINE
 Da li ima jos kategorija? (D/N):D
 Tekst za kategoriju br. 7:KRSTA-KUKOVI-BUTINE
 Da li ima jos kategorija? (D/N):D
 Tekst za kategoriju br. 8:TIPICNA ISIJALGIJA
 Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:DUZINA TRAJANJA BOLA

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):D

Cena parametra (od 1 do 5):1

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije),
 "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju
 Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:

Tekst za kategoriju br. 1:NEKOLIKO DANA

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 2:NEKOLIKO NEDELJA

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 3:DUZE OD 3 MESECA

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:KARAKTER BOLA

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):D

Cena parametra (od 1 do 5):3

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije),
 "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju
 Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:

Tekst za kategoriju br. 1:INFLAMATORNI

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 2:MEHANICKI

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:UKOCENOST

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):D

Cena parametra (od 1 do 5):2

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije),
 "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju
 Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:NE POSTOJI

Tekst za kategoriju br. 1:POSTOJI

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:ARTRITIS

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):J

Cena parametra (od 1 do 5):4

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije), "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju
Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:NEMA

Tekst za kategoriju br. 1:KUK

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 2:KOLCNO

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 3:RAMC

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 4:SKOCNI ZGLOB

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 5:LAKAT

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 6:RUCJA

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 7:STOPALA

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 8:PIP-DIP-IF ZGLOB

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 9:OSTALO

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:ENTEZOPATIJE

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):J

Cena parametra (od 1 do 5):4

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije), "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju
Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:NEMA

Tekst za kategoriju br. 1:PETA

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 2:KARLICNI POJAS

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 3:KOLCNO

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 4:LAKAT

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:ZAPALJENJE OCIJU

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):D

Cena parametra (od 1 do 5):4

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije), "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju
Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:NEMA

Tekst za kategoriju br. 1:PREDNJI UVEITIS

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 2:OSTALO

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:KOZNE PROMENE

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):D

Cena parametra (od 1 do 5):3

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije), "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju

Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:NEMA

Tekst za kategoriju br. 1:IMA

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:OPSTI SIMPTOMI

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):D

Cena parametra (od 1 do 5):3

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije), "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju

Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:NEMA

Tekst za kategoriju br. 1:IMA

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:NESPECIFICNI PARAMETRI ZAPALJENJA

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):D

Cena parametra (od 1 do 5):3

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije), "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju

Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:NE POSTOJE

Tekst za kategoriju br. 1:POSTOJE

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:SEDIMENTACIJA

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):D

Cena parametra (od 1 do 5):3

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije), "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju

Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:

Tekst za kategoriju br. 1:1 DO 19

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 2:20 DO 40

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 3:41 DO 60

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 4:PREKO 60

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:HLA, B-27

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):D

Cena parametra (od 1 do 5):5

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije), "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju

Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:NEGATIVAN

Tekst za kategoriju br. 1:POZITIVAN

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:RF

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):D

Cena parametra (od 1 do 5):5

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije), "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju

Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:NEGATIVAN

Tekst za kategoriju br. 1:POZITIVAN

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:RADIOLOSKI NALAZ

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):J

Cena parametra (od 1 do 5):5

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije), "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju

Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:NEGATIVAN

Tekst za kategoriju br. 1:SAKROILITIS

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 2:REUMAT. SPONDILITIS

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 3:DEGENERATIVNE PROM.

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 4:INFEKT. SPONDILITIS

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 5:NEOPLAZME

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 6:OSTALO

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:LEKARSKI NALAZ

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):J

Cena parametra (od 1 do 5):4

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije), "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju

Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:BEZ OSOBITOSTI

Tekst za kategoriju br. 1:ISPR.GIZ.LORDOZA L 3

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 2:KIFOZA TH KICMC

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 3:SPAZAM PVM

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 4:ABDOMINALNO DISANJE

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 5:MCNNCLL

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 6:SKRACENI SCHOBEL

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 7:SKRACENI RESP.INDEKS

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:OBOLJENJA SRCA
 Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R
 Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):J
 Cena parametra (od 1 do 5):5
 Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije),
 "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju
 Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:NEMA
 Tekst za kategoriju br. 1:INSUF.AORTNOG USCA
 Da li ima jos kategorija? (D/N):D
 Tekst za kategoriju br. 2:POREMECAJ SPROVODJ.
 Da li ima jos kategorija? (D/N):D
 Tekst za kategoriju br. 3:OSTALO
 Da li ima jos kategorija? (D/N):N

 Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:OBOLJENJA BUBREGA
 Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R
 Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):J
 Cena parametra (od 1 do 5):5
 Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije),
 "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju
 Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:NEMA
 Tekst za kategoriju br. 1:LITIJA ZA
 Da li ima jos kategorija? (D/N):D
 Tekst za kategoriju br. 2:NEFROTSKI SINDROM
 Da li ima jos kategorija? (D/N):D
 Tekst za kategoriju br. 3:OSTALO
 Da li ima jos kategorija? (D/N):N

 Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:OBOLJENJA PLUCA
 Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R
 Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):J
 Cena parametra (od 1 do 5):5
 Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije),
 "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju
 Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:NEMA
 Tekst za kategoriju br. 1:FIBROZA
 Da li ima jos kategorija? (D/N):D
 Tekst za kategoriju br. 2:OSTALO
 Da li ima jos kategorija? (D/N):N

 Da li ima jos parametara? (D/N):D

Naziv parametra:OBOLJENJA CREVA
 Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R
 Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):J
 Cena parametra (od 1 do 5):5
 Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije),
 "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju
 Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:NEMA
 Tekst za kategoriju br. 1:ULCEROZNI KOLITIS
 Da li ima jos kategorija? (D/N):D
 Tekst za kategoriju br. 2:TERMINALNI ILCITIS
 Da li ima jos kategorija? (D/N):D
 Tekst za kategoriju br. 3:WHIPPLEOVA BOLEST
 Da li ima jos kategorija? (D/N):D
 Tekst za kategoriju br. 4:OSTALO
 Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):D

127

Naziv parametra:KRAJNJA DIJAGNOZA

Identifikacioni ili radni podaci (I/R):R

Vrsta parametra - jednovremene ili disjunktne kategorije (J/D):D

Cena parametra (od 1 do 5):5

Ako postoji mogucnost da se da negativan odgovor (npr. "NEMA" (patologije), "NEGATIVAN" (nalaz) i slicno), najpre definisite taj odgovor kao kategoriju

Ako ne postoji takva mogucnost, pritisnite <RETURN>:NEMA

Tekst za kategoriju br. 1:ANKILOZ.SPONDILITIS

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 2:PSORIJAT. ARTRITIS

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 3:REITEROVA BOLCST

Da li ima jos kategorija? (D/N):D

Tekst za kategoriju br. 4:DEGENERATIV.PROMENE

Da li ima jos kategorija? (D/N):N

Da li ima jos parametara? (D/N):N

(Pošto je definisao sve osnovne parametre domena REUMA, korisnik se, dajući negativan odgovor na poslednje pitanje, vraća na osnovni nivo - poruka na početku Priloga A.)

P R I L O G B

(Nakon definisanja domena REUMA (videti Prilog A), izborom modula 2 na osnovnom nivou (početak Priloga A), korisnik pristupa formiranju baze podataka za domen REUMA, koja se sastoji od istorija bolesti pacijenata sa potvrđenim dijagnozama.)

FORMIRANJE BAZE PODATAKA

Upisite naziv domena:REUMA

Pacijent broj 43

IME

:A.M.

PREDMET IZ GODINE/BROJ

:74/488

ZANIMANJE 1-RADNIK 2-SLUZBENIK 3-ZEMLJORADNIK 4-OSTALO
:2

POL 1-MUSKI 2-ZENSKI
:1

NASLEDJE 0-NEMA 1-IMA U PORODICI
:0

DOBA POJAVE BOLESTI 1-1 DO 19 GOD. 2-20 DO 29 GOD. 3-30 DO 39 GOD. 4
-PREKO 40 GOD.
:2

POJAVA BOLA 1-NISKO U KRSTIMA 2-U SLABINSKOM DELU 3-U LEDJIMA 4-U VR
ATU 5-U PREDELU KUKOVA 6-KUKOVI - BUTINE 7-KRSTA-KUKOVI-BUTINE 8-TIP
ICNA ISIJALGIJA
:1

DUZINA TRAJANJA BOLA 1-NEKOLIKO DANA 2-NEKOLIKO NEDELJA 3-DUZE OD 3 MES
ECA
:3

KARAKTER BOLA 1-INFLAMATORNI 2-MEHANICKI
:1

UKOCENOST 0-NE POSTOJI 1-POSTOJI
:1

ARTRITIS 0-NEMA 1-KUK 2-KOLENO 3-RAME 4-SKOCNI ZGLOB 5-LAKAT
 6-RUCJA 7-STOPALA 8-PIP-DIP-IF ZGLOB 9-OSTALO

:1
 :2
 :5
 :6
 :8
 :

ENTEZOPATIJE 0-NEMA 1-PETA 2-KARLICNI POJAS 3-KOLENO 4-LAKAT
 :0

ZAPALJENJE OCIJU 0-NEMA 1-PREDNJI UVEITIS 2-OSTALO
 :0

KOZNE PROMENE 0-NEMA 1-IMA
 :0

OPSTI SIMPTOMI 0-NEMA 1-IMA
 :0

NESPECIFICNI PARAMETRI ZAPALJENJA 0-NE POSTOJE 1-POSTOJE
 :0

SEDIMENTACIJA 1-1 DO 19 2-20 DO 40 3-41 DO 60 4-PREKO 60
 :2

HLA, B-27 0-NEGATIVAN 1-POZITIVAN
 :

RF 0-NEGATIVAN 1-POZITIVAN
 :0

RADIOLOSKI NALAZ 0-NEGATIVAN 1-SAKROILITIS 2-REUMAT. SPONDILITIS 3-D
 EGENERATIVNE PROM. 4-INFJEKT. SPONDILITIS 5-NEOPLAZME 6-OSTALO

:1
 :3
 :6
 :

LEKARSKI NALAZ 0-BEZ OSOBITOSTI 1-ISPR.FIZ.LORDOZA L-S 2-KIFOZA TH KICM
 E 3-SPAZAM PVM 4-ABDOMINALNO DISANJE 5-MENNELL 6-SKRACENI SCHOVER
 7-SKRACENI RESP.INDEKS

:1
 :7
 :

OBOLJENJA SRCA 0-NEMA 1-INSUF.AORTNOG USCA 2-POREMECAJ SPROVODJ. 3-OSTALO
:0

OBOLJENJA BUBREGA 0-NEMA 1-LITIJAZA 2-NEFROTSKI SINDROM 3-OSTALO
:1
:

OBOLJENJA PLUCA 0-NEMA 1-FIBROZA 2-OSTALO
:0

OBOLJENJA CREVA 0-NEMA 1-ULCEROZNI KOLITIS 2-TERMINALNI ILEITIS 3-WH
IPPLEOVA BOLEST 4-OSTALO
:0

KRAJNJA DIJAGNOZA 0-NEMA 1-ANKILOZ.SPONDILITIS 2-PSORIJAT. ARTRITIS
3-REITEROVA BOLEST 4-DEGENERATIV.PROMENE
:1

Obzirom da su pitanjem "KRAJNJA DIJAGNOZA" iscrpeni svi definisani parametri, sistem očekuje podatke za narednog pacijenta, odnosno, ako je ovaj bio poslednji, vraća se na osnovni nivo (početak Priloga A).

P R I L O G C

(Nakon definisanja domena REUMA i formiranja odgovarajuće baze podataka (prilozi A i B), izborom modula 3 na osnovnom nivou (početak Priloga A), korisnik pristupa pripremi sistema za konsultaciju.)

PRIPREMA SISTEMA ZA KONSULTACIJU

Upisite naziv domena:REUMA

Upisite broj onog parametra koji ce predstavljati krajnju dijagnozu:26

Unesite INCIDENCE i PRAGOVE za pojedine kategorije krajnje dijagnoze:

Kategorija: ANKILOZ.SPONDILITIS Incidenca

:10

Prag

:5

Kategorija: PSORIJAT. ARTRITIS Incidenca

:20

Prag

:5

Kategorija: REITEROVA BOLEST Incidenca

:20

Prag

:5

Kategorija: DEGENERATIV.PROMENE Incidenca

:50

Prag

:5

00004 POL

00005 NASLEDJE

00006 DOBA POJAVE BOLESTI

00007 POJAVA BOLA

00008 DUZINA TRAJANJA BOLA

00009 KARAKTER BOLA

00010 UKOCENOST

00011 ARTRITIS

00012 ENTEZOPATIJE

00013 ZAPALJENJE OCIJU

00014 KOZNE PROMENE

00015 OPSTI SIMPTOMI

00016 NESPECIFICNI PARAMETRI ZAPALJENJA

00017 SEDIMENTACIJA

00018 HLA, B-27

WAITING *)

00019 RF

00020 RADIOLOSKI NALAZ

00021 LEKARSKI NALAZ

00022 OBOLJENJA SRCA

00023 OBOLJENJA BUBREGA

00024 OBOLJENJA PLUCA

00025 OBOLJENJA CREVA

(Ova faza započinje odredjivanjem parametra koji će predstavljati krajnju dijagnozu, kao i incidenca i pragova vezanih za pojedine kategorije ovog parametra. (Videti takodje poglavlja 4.4 i 4.33.)

(Sistem prezentira korisniku sve preostale radne parametre, kako bi imao bolji pregled pri izboru parametra medjudijagnoze.)

Upisite broj onog parametra koji ce predstavljati medjudijagnozu:11

Da li zelite da definisete pravila (D/N) ? :D

00004 POL
 00005 NASLEDJE
 00006 DOBA POJAVE BOLESTI
 00007 POJAVA BOLA
 00008 DUZINA TRAJANJA BOLA
 00009 KARAKTER BOLA
 00010 UKOCENOST
 00011 ARTRITIS
 00012 ENTEZOPATIJE
 00013 ZAPALJENJE OCIJU
 00014 KOZNE PROMENE
 00015 OPSTI SIMPTOMI
 00016 NESPECIFICNI PARAMETRI ZAPALJENJA
 00017 SEDIMENTACIJA
 00018 HLA, B-27
 WAITING *)
 00019 RF
 00020 RADIOLOSKI NALAZ
 00021 LEKARSKI NALAZ
 00022 OBOLJENJA SRCA
 00023 OBOLJENJA BUBREGA
 00024 OBOLJENJA PLUCA
 00025 OBOLJENJA CREVA
 00026 KRAJNJA DIJAGNOZA

(U ovoj fazi korisnik definiše produkciona pravila (videti poglavlje 4.22). Radi preglednosti, sistem prikazuje radne parametre, ovoga puta sve.)

Ako ce u pravilima da figurisu parametri koji nisu jos definisani, upisite "N" da biste ih definisali:

00004 POL
 00005 NASLEDJE
 00006 DOBA POJAVE BOLESTI
 00007 POJAVA BOLA
 00008 DUZINA TRAJANJA BOLA
 00009 KARAKTER BOLA
 00010 UKOCENOST
 00011 ARTRITIS
 00012 ENTEZOPATIJE
 00013 ZAPALJENJE OCIJU
 00014 KOZNE PROMENE
 00015 OPSTI SIMPTOMI
 00016 NESPECIFICNI PARAMETRI ZAPALJENJA
 00017 SEDIMENTACIJA
 00018 HLA, B-27
 WAITING *)
 00019 RF

(U takvom slučaju, prikazanom u Primeru 4.2 na str. 61, korisnik bi nove parametre definisao na način identičan onom prikazanom u Prilogu A.)

00020 RADIOLOSKI NALAZ
 00021 LEKARSKI NALAZ
 00022 OBOLJENJA SRCA
 00023 OBOLJENJA BUBREGA
 00024 OBOLJENJA PLUCA
 00025 OBOLJENJA CREVA
 00026 KRAJNJA DIJAGNOZA

ZAKLJUCAK:

Upisite broj parametra:26

Upisite broj kategorije:1

00004 POL
 00005 NASLEDJE
 00006 DOBA POJAVE BOLESTI
 00007 POJAVA BOLA
 00008 DUZINA TRAJANJA BOLA
 00009 KARAKTER BOLA
 00010 UKOCENOST
 00011 ARTRITIS
 00012 ENTEZOPATIJE
 00013 ZAPALJENJE OCIJU
 00014 KOZNE PROMENE
 00015 OPSTI SIMPTOMI
 00016 NESPECIFICNI PARAMETRI ZAPALJENJA
 00017 SEDIMENTACIJA
 00018 HLA, B-27

WAITING *)

00019 RF
 00020 RADIOLOSKI NALAZ
 00021 LEKARSKI NALAZ
 00022 OBOLJENJA SRCA
 00023 OBOLJENJA BUBREGA
 00024 OBOLJENJA PLUCA
 00025 OBOLJENJA CREVA
 00026 KRAJNJA DIJAGNOZA

(Korisnik najpre odabira para-
 metar i kategoriju zaključka...)

PREMISA:

Upisite broj parametra:18

Upisite broj kategorije:1

00004 POL
 00005 NASLEDJE
 00006 DOBA POJAVE BOLESTI
 00007 POJAVA BOLA
 00008 DUZINA TRAJANJA BOLA
 00009 KARAKTER BOLA
 00010 UKOCENOST
 00011 ARTRITIS
 00012 ENTEZOPATIJE
 00013 ZAPALJENJE OCIJU
 00014 KOZNE PROMENE
 00015 OPSTI SIMPTOMI
 00016 NESPECIFICNI PARAMETRI ZAPALJENJA
 00017 SEDIMENTACIJA
 00018 HLA, B-27

(... a potom i prve premise.)

WAITING *)

00019 RF
 00020 RADIOLOSKI NALAZ
 00021 LEKARSKI NALAZ
 00022 OBOLJENJA SRCA
 00023 OBOLJENJA BUBREGA
 00024 OBOLJENJA PLUCA
 00025 OBOLJENJA CREVA
 00026 KRAJNJA DIJAGNOZA

PREMISA:

Upisite broj parametra:

Upisite broj kategorije:

Upisite DIJAGNOSTICKU SNAGU pravila (od 0.0 do 1.0):1

Upisite IZVOR pravila (I= Iskustvo, L= Literatura):L

Navedite REFERENCU: Hollander, J. L., and McCarthy D. J. 1972. Arthritis and Allied Conditions. Philadelphia: Lea and Febiger.

00004 POL

00005 NASLEDJE

00006 DOBA POJAVE BOLESTI

00007 POJAVA BOLA

00008 DUZINA TRAJANJA BOLA

00009 KARAKTER BOLA

00010 UKOCENOST

00011 ARTRITIS

00012 ENTEZOPATIJE

00013 ZAPALJENJE OCIJU

00014 KOZNE PROMENE

00015 OPSTI SIMPTOMI

00016 NESPECIFICNI PARAMETRI ZAPALJENJA

00017 SEDIMENTACIJA

00018 HLA, B-27

WAITING *)

00019 RF

00020 RADIOLOSKI NALAZ

00021 LEKARSKI NALAZ

00022 OBOLJENJA SRCA

00023 OBOLJENJA BUBREGA

00024 OBOLJENJA PLUCA

00025 OBOLJENJA CREVA

00026 KRAJNJA DIJAGNOZA

(Upisom CR za drugu premisu, korisnik ukazuje da u pravilu figuriše samo jedna premisa i pristupa definisanju dijagnostičke snage i izvora pravila, kao i reference.)

(Sistem ponovo prikazuje sve parametre, očekujući da korisnik definiše sledeće pravilo.)

ZAKLJUČAK:

Upisite broj parametra:

Upisite broj kategorije:

UPISIVANJE MARGINA

(Odgovorima CR korisnik ukazuje da ne želi da unosi nova pravila. Sistem pristupa upisivanju margina - videti takodje poglavlja 4.31 i 4.33.)

Upisite marginu za odredjivanje BITNIH PARAMETARA (od 0 do 1.0):0.5

Upisite marginu za RAZLIKE U SKOROVIMA DIJAGNOZA (od 0 do 9.9):03.3

(Ovim se završava proces pripreme sistema za konsultaciju, a kontrola se vraća na osnovni nivo (početak Priloga A).)

*) WAITING je poruka računarskog sistema, koji, budući da ne može jednovremeno da prikaže sve parametre na ekranu, očekuje naredbu korisnika da nastavi sa prikazivanjem parametara.

P R I L O G D

(Nakon definisanja domena REUMA, formiranja odgovarajuće baze podataka i pripreme sistema za konsultaciju (prilozi A, B i C), izborom modula 4 na osnovnom nivou (početak Priloga A), korisnik započinje konsultativni proces.)

KONSULTATIVNI PROCES

Upisite NAZIV DOMENA :REUMA

ZANIMANJE 1-RADNIK 2-SLUZBENIK 3-ZEMLJORADNIK 4-OSTALO

Upisite odgovarajući podatak o pacijentu :1

Upisite faktor izvesnosti (od 0.0 do 1) :1

POL 1-MUSKI 2-ZENSKI

Upisite odgovarajući podatak o pacijentu :1

Upisite faktor izvesnosti (od 0.0 do 1) :1

KARAKTER BOLA 1-INFLAMATORNI 2-MEHANICKI

Upisite odgovarajući podatak o pacijentu :?

(Pošto umesto odgovora korisnik postavlja pitanje (?) sistem nastoji da objasni zašto je u ovom koraku postavio pitanje "KARAKTER BOLA". Videti po- glavlje 4.5.)

Pitanje je postavljeno zato što su vodeće dijagnoze:

KRAJNJA DIJAGNOZA: ANKILOZ.SPONDILITIS sa skorom: 1.7

i

KRAJNJA DIJAGNOZA: REITEROVA BOLEST sa skorom: 1.0

Relevantna pravila su:

AKO je KARAKTER BOLA: INFLAMATORNI

TADA je KRAJNJA DIJAGNOZA: ANKILOZ.SPONDILITIS

Sa dijagnostičkom snagom: 0.5

Izvor pravila je baza podataka sistema u kojoj je premisa povezana sa zaključkom u 50% slučajeva.

AKO je KARAKTER BOLA: MEHANICKI

TADA je KRAJNJA DIJAGNOZA: ANKILOZ.SPONDILITIS

Sa dijagnostičkom snagom: 0.5

Izvor pravila je baza podataka sistema u kojoj je premisa povezana sa zaključkom u 50% slučajeva.

AKO je KARAKTER BOLA: INFLAMATORNI
TADA je KRAJNJA DIJAGNOZA: REITEROVA BOLEST

Sa dijagnostickom snagom: 1.0
Izvor pravila je baza podataka sistema u kojoj je premisa povezana sa zakljuckom u 100% slucajeva.

AKO je KARAKTER BOLA: MEHANICKI
TADA je KRAJNJA DIJAGNOZA: REITEROVA BOLEST

Sa dijagnostickom snagom: 0.0
Izvor pravila je baza podataka sistema u kojoj je premisa povezana sa zakljuckom u 0% slucajeva.

PRITISNITE BILO KOJI TASTER ZA NASTAVAK KONSULTACIJE...:

KARAKTER BOLA 1-INFLAMATORNI 2-MEHANICKI
(Po datom objašnjenju
sistem nastavlja
konsultaciju.)

Upisite odgovarajuci podatak o pacijentu :1

Upisite faktor izvesnosti (od 0.0 do 1) :0.9

SEDIMENTACIJA 1-DO 19 2-OD 20 DO 40 3-OD 41 DO 60 4-PREKO 60

Upisite odgovarajuci podatak o pacijentu :1

Upisite faktor izvesnosti (od 0.0 do 1) :1

ENTEZOPATIJE 0-NEMA 1-PETA 2-KARLICNI POJAS 3-KOLENO 4-LAKAT

Upisite odgovarajuci podatak o pacijentu :0

Upisite faktor izvesnosti (od 0.0 do 1) :1

UKOCENOST 0-NE POSTOJI 1-POSTOJI

Upisite odgovarajuci podatak o pacijentu :? (Korisnik ponovo od sistema traži
objašnjenje. Obratiti pažnju da
se vodeće dijagnoze ovoga puta
razlikuju od prethodnih.)

Pitanje je postavljeno zato sto su vodece dijagnoze:

KRAJNJA DIJAGNOZA: ANKILOZ.SPONDILITIS sa skorom: 3.2

KRAJNJA DIJAGNOZA: PSORIJAT. ARTRITIS sa skorom: 2.7

Relevantna pravila su:

AKO je UKOCENOST: NE POSTOJI
TADA je KRAJNJA DIJAGNOZA: ANKILOZ.SPONDILITIS

Sa dijagnostickom snagom: 0.3
Izvor pravila je baza podataka sistema u kojoj je premisa povezana sa zakljuckom u 30% slucajeva.

AKO je UKOCENOST: POSTOJI
TADA je KRAJNJA DIJAGNOZA: ANKILOZ.SPONDILITIS

137

Sa dijagnostickom snagom: 0.7
Izvor pravila je baza podataka sistema u kojoj je premisa povezana
sa zakljuckom u 70% slucajeva.

AKO je UKOCENOST: NE POSTOJI
TADA je KRAJNJA DIJAGNOZA: PSORIJAT. ARTRITIS

Sa dijagnostickom snagom: 0.9
Izvor pravila je baza podataka sistema u kojoj je premisa povezana
sa zakljuckom u 90% slucajeva.

AKO je UKOCENOST: POSTOJI
TADA je KRAJNJA DIJAGNOZA: PSORIJAT. ARTRITIS

Sa dijagnostickom snagom: 0.1
Izvor pravila je baza podataka sistema u kojoj je premisa povezana
sa zakljuckom u 10% slucajeva.

PRITISNITE BILO KOJI TASTER ZA NASTAVAK KONSULTACIJE...:

(Po datom objašnjenju sistem
nastavlja konsultaciju.)

UKOCENOST 0-NE POSTOJI 1-POSTOJI

Upisite odgovarajuci podatak o pacijentu :1

Upisite faktor izvesnosti (od 0.0 do 1) :1

KOZNE PROMENE 0-NEMA 1-IMA

Upisite odgovarajuci podatak o pacijentu :0

Upisite faktor izvesnosti (od 0.0 do 1) :1

LEKARSKI NALAZ 0-BEZ OSOBITOSTI 1-ISPR.FIZ.LORDOZA L-S 2-KIFOZA TH KICM
E 3-SPAZAM PVM 4-ABDOMINALNO DISANJE 5-MENNELL 6-SKRACENI SCHOBER
7-SKRACENI RESP.INDEKS

Upisite odgovarajuci podatak o pacijentu :5

Upisite faktor izvesnosti (od 0.0 do 1) :1

(U ovom trenutku sistem završava konsultativni proces, obzirom da je skor vodeće dijagnoze
dostigao zadati prag i da je razlika skorova vodeće dve dijagnoze veća od zadate margine.
Ove vrednosti zadate su u fazi pripreme sistema za konsultaciju (Prilog C).)

NA OSNOVU PODATAKA O PACIJENTU SISTEM SUGERISE KAO KRAJNJU DIJAGNOZU

KRAJNJA DIJAGNOZA: ANKILOZ.SPONDILITIS - skor 5.0 - prag: 5

Konacni skorovi za ostale dijagnoze su:

KRAJNJA DIJAGNOZA: REITEROVA BOLEST - skor 3.4 - prag: 5

KRAJNJA DIJAGNOZA: PSORIJAT. ARTRITIS - skor 2.8 - prag: 5

KRAJNJA DIJAGNOZA: DEGENERATIV.PROMENE - skor 2.8 - prag: 5

Upisite "?" ako zelite objasnjenje prethodnog koraka ove odluke
ili pritisnite bilo koji drugi taster za kraj konsultacije:

138

OVIM JE ZAVRSENA KONSULTACIJA.

HVALA NA POVERENJU!

*** KONSULTATIVNI EKSPERTNI SISTEM B E L A R T ***

(Obzirom da korisnik nije od sistema tražio dalja objašnjenja, kontrola se posle
ove poruke vraća na osnovni nivo (početak Priloga A).)

PRIMERI STRUKTURA I PODATAKA *)

1. A STRUKTURA PARAMETARA

(Videti poglavlje 4.21)

```

STRUCTURE FOR FILE:  B:REUMA   .DBF
NUMBER OF RECORDS:   00026
DATE OF LAST UPDATE: 00/00/00
PRIMARY USE DATABASE
FLD      NAME      TYPE WIDTH  DEC
001      NAZIVPARAM C      035
002      IDPOD      C      001
003      VRSTA      C      001
004      DUZTEKSTA  N      003
005      MAKSBROJ   N      006
006      MINBROJ    N      006
007      DIJAGNOST  L      001
008      KRAJNJA    L      001
009      CENA       N      001
010      OPIS       C      003
011      K0         C      025
012      K1         C      025
013      K2         C      025
014      K3         C      025
015      K4         C      025
016      K5         C      025
017      K6         C      025
018      K7         C      025
019      K8         C      025
020      K9         C      025
021      K10        C      025
022      K11        C      025
023      K12        C      025
024      K13        C      025
025      K14        C      025
026      K15        C      025
027      K16        C      025
028      K17        C      025
029      K18        C      025
030      K19        C      025
031      K20        C      025
032      UKBRKATEG  N      002
** TOTAL **                00586

```

*) Prilog E sastoji se iz primera struktura raznih datoteka korišćenih u sistemu BELA kao i odgovarajućih podataka (A i B delovi, respektivno). Budući da su dati primer iz mikroračunarske implementacije sistema, oni svi imaju strukturu dBASE-II, koji isključivo korišćen u ovoj implementaciji.

1. B PODACI ZA PARAMETAR BR. 21

(Videti definiciju parametra "LEKARSKI NALAZ" u Prilogu A)

FILE: B:REUMA .DBF

RECORD NO.: 21

FIELD NAME	FIELD CONTENTS
NAZIVPARAM:	LEKARSKI NALAZ
IDPOD :	R
VRSTA :	J
DUZTEKSTA :	0
MAKSBROJ :	0
MINBROJ :	0
DIJAGNOST :	.F.
KRAJNJA :	.F.
CENA :	4
OPIS :	
K0 :	BEZ OSOBITOSTI
K1 :	ISPR.FIZ.LORDOZA L-S
K2 :	KIFOZA TH KICME
K3 :	SPAZAM PVM
K4 :	ABDOMINALNO DISANJE
K5 :	MENNELL
K6 :	SKRACENI SCHOBER
K7 :	SKRACENI RESP.INDEKS
K8 :	
K9 :	
K10 :	
K11 :	
K12 :	
K13 :	
K14 :	
K15 :	
K16 :	
K17 :	
K18 :	
K19 :	
K20 :	
UKBRKATEG :	7

2. A STRUKTURA ISTORIJA BOLESTI

(Sastoji se od 26 parametara definisanih u Prilogu A)

```

STRUCTURE FOR FILE:  B:UREUMA  .DBF
NUMBER OF RECORDS:  00045
DATE OF LAST UPDATE: 00/00/00
PRIMARY USE DATABASE
FLD      NAME      TYPE  WIDTH  DEC
001      P1        C      030
002      P2        C      007
003      P3        N      001
004      P4        N      001
005      P5        N      001
006      P6        N      001
007      P7        N      001
008      P8        N      001
009      P9        N      001
010      P10       N      001
011      P11       C      018
012      P12       C      008
013      P13       N      001
014      P14       N      001
015      P15       N      001
016      P16       N      001
017      P17       N      001
018      P18       N      001
019      P19       N      001
020      P20       C      012
021      P21       C      014
022      P22       C      006
023      P23       C      006
024      P24       C      004
025      P25       C      008
026      P26       N      001
** TOTAL **              00130

```

2.B ISTORIJA BOLESTI ZA PACIJENTA BR. 43

(Videti PRILOG B)

FILE: B:UREUMA .DBF

RECORD NO.: 43

FIELD NAME FIELD CONTENTS

P1	:	A.M.
P2	:	74/488
P3	:	2
P4	:	1
P5	:	0
P6	:	2
P7	:	1
P8	:	3
P9	:	1
P10	:	1
P11	:	1 2 5 6 8
P12	:	0
P13	:	0
P14	:	0
P15	:	0
P16	:	0
P17	:	2
P18	:	0
P19	:	0
P20	:	1 3 6
P21	:	1 7
P22	:	0
P23	:	1
P24	:	0
P25	:	0
P26	:	1

3. A STRUKTURA PRAVILA

(Videti poglavlje 4.22, kao i Prilog C)

STRUCTURE FOR FILE: A:PREUMA .DBF

NUMBER OF RECORDS: 00378

DATE OF LAST UPDATE: 00/00/00

PRIMARY USE DATABASE

FLD	NAME	TYPE	WIDTH	DEC
001	DIJAGSNAGA	N	003	001
002	IZVOR	C	001	
003	REFER	C	025	
004	ZAKLJUCAK	C	005	
005	BPITANJA	N	004	
006	PR1	C	006	
007	PR2	C	006	
008	PR3	C	006	
009	PR4	C	006	
010	PR5	C	006	
011	PR6	C	006	
012	PR7	C	006	
013	PR8	C	006	
014	PR9	C	006	
** TOTAL **			00093	

PRAVILO BROJ	P R E M I S A		Z A K L J U Č A K		DIJAGNOSTIČKA SNAGA
	Parametar	Kategorija	Parametar	Kategorija	
1	3	1	26	1	0.7
2	3	2	26	1	0.2
3	3	3	26	1	0.1
4	3	4	26	1	0.0
5	4	1	26	1	1.0
6	4	2	26	1	0.0
7	5	0	26	1	1.0
8	5	1	26	1	0.0
9	6	1	26	1	0.1
10	6	2	26	1	0.7
11	6	3	26	1	0.0
12	6	4	26	1	0.2
13	7	0	26	1	0.0
14	7	1	26	1	0.4
15	7	2	26	1	0.0
16	7	3	26	1	0.0
17	7	4	26	1	0.1
18	7	5	26	1	0.2
19	7	6	26	1	0.1
20	7	7	26	1	0.1
21	7	8	26	1	0.1
22	8	1	26	1	0.1
23	8	2	26	1	0.1
24	8	3	26	1	0.8
25	9	1	26	1	0.5
26	9	2	26	1	0.5
27	10	0	26	1	0.3
28	10	1	26	1	0.7
29	11	0	26	1	0.2
30	11	1	26	1	0.4
31	11	2	26	1	0.5
32	11	3	26	1	0.3
33	11	4	26	1	0.2
34	11	5	26	1	0.1
35	11	6	26	1	0.2
36	11	7	26	1	0.0
37	11	8	26	1	0.1
38	11	9	26	1	0.0
39	12	0	26	1	0.9
40	12	1	26	1	0.0
41	12	2	26	1	0.1
42	12	3	26	1	0.0
43	12	4	26	1	0.0
44	13	0	26	1	0.8
45	13	1	26	1	0.1
46	13	2	26	1	0.1
47	14	0	26	1	1.0
48	14	1	26	1	0.0
49	15	0	26	1	0.9
50	15	1	26	1	0.1
51	16	0	26	1	0.7
52	16	1	26	1	0.3
53	17	1	26	1	0.2
54	17	2	26	1	0.7

PRAVILO BROJ	P R E M I S A		Z A K L J U Č A K		DIJAGNOSTIČKA SNAGA
	Parametar	Kategorija	Parametar	Kategorija	
55	17	3	26	1	0.0
56	17	4	26	1	0.1
57	18	0	26	1	0.0
58	18	1	26	1	0.1
59	19	0	26	1	0.7
60	19	1	26	1	0.1
61	20	0	26	1	0.0
62	20	1	26	1	1.0
63	20	2	26	1	0.6
64	20	3	26	1	0.1
65	20	4	26	1	0.0
66	20	5	26	1	0.0
67	20	6	26	1	0.4
68	21	0	26	1	0.0
69	21	1	26	1	0.6
70	21	2	26	1	0.5
71	21	3	26	1	0.4
72	21	4	26	1	0.4
73	21	5	26	1	0.1
74	21	6	26	1	0.6
75	21	7	26	1	0.6
76	22	0	26	1	0.8
77	22	1	26	1	0.0
78	22	2	26	1	0.0
79	22	3	26	1	0.2
80	23	0	26	1	0.9
81	23	1	26	1	0.1
82	23	2	26	1	0.0
83	23	3	26	1	0.0
84	24	0	26	1	0.9
85	24	1	26	1	0.0
86	24	2	26	1	0.1
87	25	0	26	1	1.0
88	25	1	26	1	0.0
89	25	2	26	1	0.0
90	25	3	26	1	0.0
91	25	4	26	1	0.0
92	26	2	26	1	0.0
93	26	3	26	1	0.0
94	26	4	26	1	0.0
95	3	1	26	2	0.0
96	3	2	26	2	0.3
97	3	3	26	2	0.0
98	3	4	26	2	0.7
99	4	1	26	2	0.5
100	4	2	26	2	0.5
101	5	0	26	2	0.7
102	5	1	26	2	0.3
103	6	1	26	2	0.0
104	6	2	26	2	0.4
105	6	3	26	2	0.4
106	6	4	26	2	0.2
107	7	0	26	2	0.0
108	7	1	26	2	0.0

PRAVILO BROJ	P R E M I S A		Z A K L J U Č A K		DIJAGNOSTIČKA SNAGA
	Parametar	Kategorija	Parametar	Kategorija	
109	7	2	26	2	0.0
110	7	3	26	2	0.0
111	7	4	26	2	0.0
112	7	5	26	2	0.1
113	7	6	26	2	0.0
114	7	7	26	2	0.0
115	7	8	26	2	0.0
116	8	1	26	2	0.0
117	8	2	26	2	0.0
118	8	3	26	2	1.0
119	9	1	26	2	1.0
120	9	2	26	2	0.0
121	10	0	26	2	0.9
122	10	1	26	2	0.1
123	11	0	26	2	0.0
124	11	1	26	2	0.1
125	11	2	26	2	0.4
126	11	3	26	2	0.3
127	11	4	26	2	0.3
128	11	5	26	2	0.3
129	11	6	26	2	0.3
130	11	7	26	2	0.1
131	11	8	26	2	0.9
132	11	9	26	2	0.0
133	12	0	26	2	0.0
134	12	1	26	2	0.1
135	12	2	26	2	0.0
136	12	3	26	2	0.0
137	12	4	26	2	0.0
138	13	0	26	2	0.9
139	13	1	26	2	0.1
140	13	2	26	2	0.0
141	14	0	26	2	0.0
142	14	1	26	2	1.0
143	15	0	26	2	1.0
144	15	1	26	2	0.0
145	16	0	26	2	0.7
146	16	1	26	2	0.3
147	17	1	26	2	0.2
148	17	2	26	2	0.0
149	17	3	26	2	0.4
150	17	4	26	2	0.4
151	18	0	26	2	0.0
152	18	1	26	2	0.0
153	19	0	26	2	1.0
154	19	1	26	2	0.0
155	20	0	26	2	0.0
156	20	1	26	2	0.5
157	20	2	26	2	0.1
158	20	3	26	2	0.2
159	20	4	26	2	0.0
160	20	5	26	2	0.0
161	20	6	26	2	1.0
162	21	0	26	2	0.0

PRAVILO BROJ	P R E M I S A		Z A K L J U Č A K		DIJAGNOSTIČKA SNAGA
	Parametar	Kategorija	Parametar	Kategorija	
163	21	1	26	2	0.1
164	21	2	26	2	0.1
165	21	3	26	2	0.1
166	21	4	26	2	0.0
167	21	5	26	2	0.0
168	21	6	26	2	0.1
169	21	7	26	2	0.1
170	22	0	26	2	0.8
171	22	1	26	2	0.0
172	22	2	26	2	0.0
173	22	3	26	2	0.2
174	23	0	26	2	0.8
175	23	1	26	2	0.2
176	23	2	26	2	0.0
177	23	3	26	2	0.0
178	24	0	26	2	1.0
179	24	1	26	2	0.0
180	24	2	26	2	0.0
181	25	0	26	2	0.9
182	25	1	26	2	0.0
183	25	2	26	2	0.0
184	25	3	26	2	0.0
185	25	4	26	2	0.1
186	26	1	26	2	0.0
187	26	3	26	2	0.0
188	26	4	26	2	0.0
189	3	1	26	3	0.0
190	3	2	26	3	0.0
191	3	3	26	3	0.1
192	3	4	26	3	0.9
193	4	1	26	3	1.0
194	4	2	26	3	0.0
195	5	0	26	3	1.0
196	5	1	26	3	0.0
197	6	1	26	3	0.1
198	6	2	26	3	0.6
199	6	3	26	3	0.2
200	6	4	26	3	0.1
201	7	0	26	3	0.4
202	7	1	26	3	0.6
203	7	2	26	3	0.0
204	7	3	26	3	0.0
205	7	4	26	3	0.0
206	7	5	26	3	0.0
207	7	6	26	3	0.0
208	7	7	26	3	0.0
209	7	8	26	3	0.0
210	8	1	26	3	0.0
211	8	2	26	3	0.3
212	8	3	26	3	0.7
213	9	1	26	3	1.0
214	9	2	26	3	0.0
215	10	0	26	3	0.6
216	10	1	26	3	0.4

PRAVILO BROJ	P R E M I S A		Z A K L J U Č A K		DIJAGNOSTICKA SNAGA
	Parametar	Kategorija	Parametar	Kategorija	
217	11	0	26	3	0.0
218	11	1	26	3	0.0
219	11	2	26	3	0.4
220	11	3	26	3	0.0
221	11	4	26	3	0.4
222	11	5	26	3	0.0
223	11	6	26	3	0.1
224	11	7	26	3	0.2
225	11	8	26	3	0.4
226	11	9	26	3	0.0
227	12	0	26	3	0.0
228	12	1	26	3	0.8
229	12	2	26	3	0.1
230	12	3	26	3	0.0
231	12	4	26	3	0.0
232	13	0	26	3	0.6
233	13	1	26	3	0.2
234	13	2	26	3	0.2
235	14	0	26	3	0.7
236	14	1	26	3	0.3
237	15	0	26	3	0.5
238	15	1	26	3	0.5
239	16	0	26	3	0.5
240	16	1	26	3	0.5
241	17	1	26	3	0.0
242	17	2	26	3	0.2
243	17	3	26	3	0.3
244	17	4	26	3	0.5
245	18	0	26	3	0.0
246	18	1	26	3	0.1
247	19	0	26	3	1.0
248	19	1	26	3	0.0
249	20	0	26	3	0.0
250	20	1	26	3	0.9
251	20	2	26	3	0.4
252	20	3	26	3	0.1
253	20	4	26	3	0.0
254	20	5	26	3	0.0
255	20	6	26	3	0.8
256	21	0	26	3	0.3
257	21	1	26	3	0.1
258	21	2	26	3	0.1
259	21	3	26	3	0.1
260	21	4	26	3	0.0
261	21	5	26	3	0.4
262	21	6	26	3	0.6
263	21	7	26	3	0.1
264	22	0	26	3	0.9
265	22	1	26	3	0.1
266	22	2	26	3	0.0
267	22	3	26	3	0.0
268	23	0	26	3	0.3
269	23	1	26	3	0.0
270	23	2	26	3	0.0

PRAVILO BROJ	P R E M I S A		Z A K L J U Č A K		DIJAGNOSTIČKA SNAGA
	Parametar	Kategorija	Parametar	Kategorija	
271	23	3	26	3	0.7
272	24	0	26	3	1.0
273	24	1	26	3	0.0
274	24	2	26	3	0.0
275	25	0	26	3	1.0
276	25	1	26	3	0.0
277	25	2	26	3	0.0
278	25	3	26	3	0.0
279	25	4	26	3	0.0
280	26	1	26	3	0.0
281	26	2	26	3	0.0
282	26	4	26	3	0.0
283	3	1	26	4	0.3
284	3	2	26	4	0.6
285	3	3	26	4	0.0
286	3	4	26	4	0.1
287	4	1	26	4	0.5
288	4	2	26	4	0.5
289	5	0	26	4	1.0
290	5	1	26	4	0.0
291	6	1	26	4	0.0
292	6	2	26	4	0.5
293	6	3	26	4	0.1
294	6	4	26	4	0.4
295	7	0	26	4	0.0
296	7	1	26	4	0.2
297	7	2	26	4	0.0
298	7	3	26	4	0.0
299	7	4	26	4	0.4
300	7	5	26	4	0.0
301	7	6	26	4	0.0
302	7	7	26	4	0.3
303	7	8	26	4	0.1
304	8	1	26	4	0.1
305	8	2	26	4	0.1
306	8	3	26	4	0.8
307	9	1	26	4	0.0
308	9	2	26	4	1.0
309	10	0	26	4	0.8
310	10	1	26	4	0.2
311	11	0	26	4	1.0
312	11	1	26	4	0.0
313	11	2	26	4	0.0
314	11	3	26	4	0.0
315	11	4	26	4	0.0
316	11	5	26	4	0.0
317	11	6	26	4	0.0
318	11	7	26	4	0.0
319	11	8	26	4	0.0
320	11	9	26	4	0.0
321	12	0	26	4	0.7
322	12	1	26	4	0.0
323	12	2	26	4	0.2
324	12	3	26	4	0.1

PRAVILO BROJ	P R E M I S A		Z A K L J U Č A K		DIJAGNOSTIČKA SNAGA
	Parametar	Kategorija	Parametar	Kategorija	
325	12	4	26	4	0.0
326	13	0	26	4	1.0
327	13	1	26	4	0.0
328	13	2	26	4	0.0
329	14	0	26	4	1.0
330	14	1	26	4	0.0
331	15	0	26	4	1.0
332	15	1	26	4	0.0
333	16	0	26	4	0.1
334	16	1	26	4	0.0
335	17	1	26	4	0.1
336	17	2	26	4	0.0
337	17	3	26	4	0.0
338	17	4	26	4	0.0
339	18	0	26	4	0.0
340	18	1	26	4	0.0
341	19	0	26	4	0.0
342	19	1	26	4	0.0
343	20	0	26	4	0.0
344	20	1	26	4	0.0
345	20	2	26	4	0.0
346	20	3	26	4	1.0
347	20	4	26	4	0.0
348	20	5	26	4	0.0
349	20	6	26	4	0.3
350	21	0	26	4	0.1
351	21	1	26	4	0.3
352	21	2	26	4	0.3
353	21	3	26	4	0.1
354	21	4	26	4	0.0
355	21	5	26	4	0.0
356	21	6	26	4	0.2
357	21	7	26	4	0.1
358	22	0	26	4	0.9
359	22	1	26	4	0.0
360	22	2	26	4	0.0
361	22	3	26	4	0.1
362	23	0	26	4	0.9
363	23	1	26	4	0.0
364	23	2	26	4	0.0
365	23	3	26	4	0.1
366	24	0	26	4	0.9
367	24	1	26	4	0.0
368	24	2	26	4	0.1
369	25	0	26	4	0.9
370	25	1	26	4	0.0
371	25	2	26	4	0.0
372	25	3	26	4	0.0
373	25	4	26	4	0.1
374	26	1	26	4	0.0
375	26	2	26	4	0.0
376	26	3	26	4	0.0

FILE: PREUMA .DBF

RECORD NO.: 377

FIELD NAME FIELD CONTENTS

DIJAGNAGA: 0.9

IZVOR : I

REFER :

ZAKLJUČAK : 9 1 [Parametri 27 (JUTARNJI BOL), 28 (OTOK) I
BPITANJA : 0 29 (CRVENILO), definisani su u procesu
PR1 : 27 0 pripreme sistema za konsultaciju.]

PR2 : 28 1

PR3 : 29 1

PR4 : (Videti Primer 4.2, str. 61)

PR5 :

PR6 :

PR7 :

PR8 :

PR9 :

FILE: PREUMA .DBF

RECORD NO.: 378

FIELD NAME FIELD CONTENTS

DIJAGNAGA: 0.9

IZVOR : L

REFER : Hollander,J. 1971.str.138

ZAKLJUČAK : 26 1

BPITANJA : 0

PR1 : 18 1

PR2 :

PR3 :

PR4 :

PR5 :

[Premisa: 18 (HLA B-27)

PR6 :

= 1 (pozitivan)

PR7 :

PR8 :

Zaključak: 26 (KRAJNJA DIJAGNOZA)

PR9 :

= 1 (ankilozirajući
spondilitis)1

FILE: PREUMA .DBF

RECORD NO.: 379

FIELD NAME FIELD CONTENTS

DIJAGNAGA: 0.0

IZVOR : L

REFER : Hollander,J. 1971.str.138

ZAKLJUCAK : 26 2

BPITANJA : 0

PR1 : 18 1

PR2 :

PR3 :

PR4 :

PR5 :

PR6 :

PR7 :

PR8 :

PR9 :

[Premisa: 18 (HLA B-27)
= 1 (pozitivan)

Zaključak: 26 (KRAJNJA DIJAGNOZA)
= 2 (psorijatski
artritis)]

FILE: PREUMA .DBF

RECORD NO.: 380

FIELD NAME FIELD CONTENTS

DIJAGSNAGA: 0.8

IZVOR : L

REFER : Hollander,J. 1971.str.138

ZAKLJUČAK : 26 3

BPITANJA : 0

PR1 : 18 1

PR2 :

PR3 :

PR4 :

PR5 :

PR6 :

PR7 :

PR8 :

PR9 :

[Premisa: 18 (HLA B-27)
= 1 (pozitivan)

Zaključak: 26 (KRAJNJA DIJAGNOZA)
= 3 (Reiter-ova
bolest)1

FILE: PREUMA .DBF

RECORD NO.: 381

FIELD NAME FIELD CONTENTS

DIJAGNOSTIKA: 0.0

IZVOR : L

REFER : Hollander,J. 1971.str.138

ZAKLJUČAK : 26 4

BPITANJA : 0

PR1 : 18 1

PR2 :

PR3 :

PR4 :

PR5 :

PR6 :

[Premisa: 18 (HLA B-27)

PR7 :

= 1 (pozitivan)

PR8 :

PR9 :

Zaključak: 26 (KRAJNJA DIJAGNOZA)

= 4 (degenerativne
promene)]

FILE: PREUMA .DBF

RECORD NO.: 382

FIELD NAME FIELD CONTENTS

DIJAGNAGA: 0.1

IZVOR : L

REFER : Hollander,J. 1971.str.138

ZAKLJUČAK : 26 1

BPITANJA : 0

PR1 : 18 0

PR2 :

PR3 :

PR4 :

PR5 :

PR6 :

PR7 :

PR8 :

PR9 :

[Premisa: 18 (HLA B-27)
= 0 (negativan)

Zaključak: 26 (KRAJNJA DIJAGNOZA)
= 1 (ankilozirajući
spondilitis)]

FILE: PREUMA .DBF

RECORD NO.: 383

FIELD NAME FIELD CONTENTS

DIJAGNAGA: 1.0

IZVOR : L

REFER : Hollander,J. 1971.str.138

ZAKLJUČAK : 26 2

BPITANJA : 0

PR1 : 18 0

PR2 :

PR3 :

PR4 :

PR5 :

PR6 :

PR7 :

PR8 :

PR9 :

[Premisa: 18 (HLA B-27)
= 0 (negativan)

Zaključak: 26 (KRAJNJA DIJAGNOZA)
= 2 (psorijatski
arthritis)]

FILE: PREUMA .DBF

RECORD NO.: 384

FIELD NAME FIELD CONTENTS

DIJAGNAGA: 0.2

IZVOR : L

REFER : Hollander,J. 1971.str.138

ZAKLJUČAK : 26 3

BPITANJA : 0

PR1 : 18 0

PR2 :

PR3 :

PR4 :

PR5 :

PR6 :

PR7 :

PR8 :

PR9 :

[Premisa: 18 (HLA B-27)
= 0 (negativan)

Zaključak: 26 (KRAJNJA DIJAGNOZA)
= 3 (Reiter-ova
bolest)]

FILE: PREUMA .DBF

RECORD NO.: 385

FIELD NAME FIELD CONTENTS

DIJAGNAGA: 1.0

IZVOR : L

REFER : Hollander, J. 1971.str.138

ZAKLJUČAK : 26 4

BPITANJA : 0

PR1 : 18 0

PR2 :

PR3 :

PR4 :

PR5 :

PR6 :

PR7 :

PR8 :

PR9 :

[Premisa: 18 (HLA B-27)
= 0 (negativan)]

Zaključak: 26 (KRAJNJA DIJAGNOZA)
= 4 (degenerativne
promene)]

4.A STRUKTURA LISTE BITNIH PARAMETARA (Videti poglavlje 4.31)

STRUCTURE FOR FILE: B:BREUMA .DBF
 NUMBER OF RECORDS: 00006
 DATE OF LAST UPDATE: 00/00/00
 PRIMARY USE DATABASE

FLD	NAME	TYPE	WIDTH	DEC
001	DG1	C	002	
002	DG2	C	002	
003	BP1	C	003	
004	BP2	C	003	
005	BP3	C	003	
006	BP4	C	003	
007	BP5	C	003	
008	BP6	C	003	
009	BP7	C	003	
010	BP8	C	003	
011	BP9	C	003	
012	BP10	C	003	
013	BP11	C	003	
014	BP12	C	003	
015	BP13	C	003	
016	BP14	C	003	
017	BP15	C	003	
018	BP16	C	003	
019	BP17	C	003	
020	BP18	C	003	
021	BP19	C	003	
022	BP20	C	003	
023	BP21	C	003	
024	BP22	C	003	
025	BP23	C	003	
026	BP24	C	003	
027	BP25	C	003	
028	BP26	C	003	
029	BP27	C	003	
030	BP28	C	003	
031	BP29	C	003	
032	UKBRBP	N	002	
** TOTAL **			00094	

FILE: B:BREUMA .DBF

RECORD NO.: 1

FIELD NAME FIELD CONTENTS

DG1 : 1
 DG2 : 2
 BP1 : 3
 BP2 : 4
 BP3 : 10
 BP4 : 9
 BP5 : 14
 BP6 : 17
 BP7 : 11
 BP8 : 21
 BP9 : 20
 BP10 : 18

BP11 : [Za dijagnoze DG1=1
 BP12 : (ANKILOZIRAJUĆI SPONDILITIS) I
 BP13 : DG2=2 (PSORIJATSKI ARTRITIS),
 BP14 : bitni parametri na nivou Di=0.5
 BP15 : su, prema rastućoj ceni: 3
 BP16 : (ZANIMANJE), 4 (POL), 10
 BP17 : (UKOČENOST), 9 (KARAKTER BOLA),
 BP18 : 14 (KOŽNE PROMENE), 17
 BP19 : (SEDIMENTACIJA), 11 (ARTRITIS),
 BP20 : 21 (LEKARSKI NALAZ), 20
 BP21 : (RADIOLOŠKI NALAZ) i 18 (HLA
 BP22 : B-27)]
 BP23 :
 BP24 :
 BP25 :
 BP26 :
 BP27 :
 BP28 :
 BP29 :
 UKBRBP : 10

FILE: B:BREUMA .DBF

RECORD NO.: 2

FIELD NAME FIELD CONTENTS

DG1	:	1
DG2	:	3
BP1	:	3
BP2	:	9
BP3	:	17
BP4	:	12
BP5	:	21
BP6	:	23
BP7	:	
BP8	:	
BP9	:	
BP10	:	
BP11	:	[Za dijagnoze DG1=1
BP12	:	(ANKILOZIRAJUĆI SPONDILITIS) I
BP13	:	DG2=3 (REITER-OVA BOLEST), bitni
BP14	:	parametri na nivou Di=0.5 su,
BP15	:	prema rastućoj ceni: 3
BP16	:	(ZANIMANJE), 9 (KARAKTER BOLA),
BP17	:	17 (SEDIMENTACIJA), 12
BP18	:	(ENTEZOPATIJE), 21 (LEKARSKI
BP19	:	NA LAZ) i 23 (OBOLJENJA BUBREGA)]
BP20	:	
BP21	:	
BP22	:	
BP23	:	
BP24	:	
BP25	:	
BP26	:	
BP27	:	
BP28	:	
BP29	:	
UKBRBP	:	6

FILE: B:BREUMA .DBF

RECORD NO.: 3

FIELD NAME FIELD CONTENTS

DG1 : 1
 DG2 : 4
 BP1 : 4
 BP2 : 7
 BP3 : 10
 BP4 : 9
 BP5 : 11
 BP6 : 21
 BP7 : 20
 BP8 : 18

BP9 :

BP10 :

BP11 :

BP12 :

BP13 :

BP14 :

BP15 :

BP16 :

BP17 :

BP18 :

BP19 :

BP20 :

BP21 :

BP22 :

BP23 :

BP24 :

BP25 :

BP26 :

BP27 :

BP28 :

BP29 :

UKBRBP : 8

[Za dijagnoze DG1=1
 (ANKILOZIRAJUĆI SPONDILITIS) I
 DG2=4 (DEGENERATIVNE PROMENE),
 bitni parametri na nivou Di=0.5
 su, prema rastućoj ceni: 4 (POL),
 7 (POJAVA BOLA), 10 (UKOČENOST),
 9 (KARAKTER BOLA), 11 (ARTRITIS),
 21 (LEKARSKI NALAZ), 20
 (RADIOLOŠKI NALAZ) i 18 (hla
 b-27)]

FILE: B:BREUMA .DBF

RECORD NO.: 4

FIELD NAME FIELD CONTENTS

DG1	:	2
DG2	:	3
BP1	:	4
BP2	:	7
BP3	:	14
BP4	:	15
BP5	:	11
BP6	:	12
BP7	:	21
BP8	:	23
BP9	:	18
BP10	:	
BP11	:	
BP12	:	
BP13	:	
BP14	:	
BP15	:	
BP16	:	
BP17	:	
BP18	:	
BP19	:	
BP20	:	
BP21	:	
BP22	:	
BP23	:	
BP24	:	
BP25	:	
BP26	:	
BP27	:	
BP28	:	
BP29	:	
UKBRBP	:	9

[Za dijagnoze DG1=2 (PSORIJATSKI ARTRITIS) i DG2=3 (REITER-OVA BOLEST), bitni parametri na nivou Di=0.5 su, prema rastućoj ceni: 4 (POL), 7 (POJAVA BOLA), 14 (KOŽNE PROMENE), 15 (OPŠTI SIMPTOMI), 11 (ARTRITIS), 12 (ENTEZOPATIJE), 21 (LEKARSKI NALAZ), 23 (OBOLJENJA BUBREGA) i 18 (HLA B-27)]

FILE: B:BREUMA .DBF

RECORD NO.: 5

FIELD NAME FIELD CONTENTS

DG1	:	2
DG2	:	4
BP1	:	3
BP2	:	9
BP3	:	14
BP4	:	11
BP5	:	21
BP6	:	20
BP7	:	
BP8	:	
BP9	:	
BP10	:	
BP11	:	
BP12	:	
BP13	:	
BP14	:	
BP15	:	
BP16	:	
BP17	:	
BP18	:	
BP19	:	
BP20	:	
BP21	:	
BP22	:	
BP23	:	
BP24	:	
BP25	:	
BP26	:	
BP27	:	
BP28	:	
BP29	:	
UKBRBP	:	6

[Za dijagnoze DG1=2 (PSORIJATSKI ARTRITIS) i DG2=4 (DEGENERATIVNE PROMENE), bitni parametri na nivou Di=0.5 su, prema rastućoj ceni: 3 (ZANIMANJE), 9 (KARAKTER BOLA), 14 (KOŽNE PROMENE), 11 (ARTRITIS), 21 (LEKARSKI NALAZ) i 20 (RADIOLOŠKI NALAZ)]

FILE: B:BREUMA .DBF

RECORD NO.: 6

FIELD NAME FIELD CONTENTS

DG1	:	3
DG2	:	4
BP1	:	3
BP2	:	4
BP3	:	9
BP4	:	15
BP5	:	16
BP6	:	12
BP7	:	21
BP8	:	20
BP9	:	18

BP10

BP11

BP12

BP13

BP14

BP15

BP16

BP17

BP18

BP19

BP20

BP21

BP22

BP23

BP24

BP25

BP26

BP27

BP28

BP29

UKBRBP

9

[Za dijagnoze DG1=3 (REITER-OVA BOLEST) i DG2=4 (DEGENERATIVNE PROMENE), bitni parametri na nivou Di=0.5 su, prema rastućoj ceni: 3 (ZANIMANJE), 4 (POL), 9 (KARAKTER BOLA), 15 (OPŠTI SIMPTOMI), 16 (NESPECIFIČNI PARAMETRI ZAPALJENJA), 12 (ENTEZOPATIJE), 21 (LEKARSKI NALAZ), 20 (RADIOLOŠKI NALAZ) i 18 (HLA B-27)]

5.A STRUKTURA TRAGA KONSULTACIJE (Videti poglavlje 4.33)

STRUCTURE FOR FILE: B:TREUMA .DBF

NUMBER OF RECORDS: 00008

DATE OF LAST UPDATE: 00/00/00

PRIMARY USE DATABASE

FLD	NAME	TYPE	WIDTH	DEC
001	PARAMETAR	N	003	
002	KATEGORIJA	N	002	
003	IZVESNOST	C	001	
004	SK1	N	005	001
005	SK2	N	005	001
006	SK3	N	005	001
007	SK4	N	005	001
008	SK5	N	005	001
009	SK6	N	005	001
010	SK7	N	005	001
011	SK8	N	005	001
012	SK9	N	005	001
013	SK10	N	005	001
014	SK11	N	005	001
015	SK12	N	005	001
016	SK13	N	005	001
017	SK14	N	005	001
018	SK15	N	005	001
019	SK16	N	005	001
020	SK17	N	005	001
021	SK18	N	005	001
022	SK19	N	005	001
023	SK20	N	005	001
024	MAKSKAT	C	007	
025	DRUGKAT	C	007	
** TOTAL **			00121	

5. B TRAG KONSULTACIJE *

FILE: B:TREUMA .DBF

RECORD NO.: 8

FIELD NAME FIELD CONTENTS

PARAMETAR :	21
KATEGORIJA:	5
IZVESNOST :	I
SK1 :	5.0
SK2 :	3.4
SK3 :	2.8
SK4 :	2.8
SK5 :	0.0
SK6 :	0.0
SK7 :	0.0
SK8 :	0.0
SK9 :	0.0
SK10 :	0.0
SK11 :	0.0
SK12 :	0.0
SK13 :	0.0
SK14 :	0.0
SK15 :	0.0
SK16 :	0.0
SK17 :	0.0
SK18 :	0.0
SK19 :	0.0
SK20 :	0.0
MAKSKAT :	1 5.0
DRUGKAT :	3 3.4

* Trag 8-og koraka konsultacije prikazane u PRILOGU D, u kome BELART postavlja pitanje o LEKARSKOM NALAZU pacijenta (Parametar br. 21). Kako je kod pacijenta ustanovljeno prisustvo MENNELL-a (Kategorija 5 Parametra 21), sa izvesnošću 1 (I), BELART, nakon ažuriranja skorova za sve kategorije krajnje dijagnoze, dobija da najviši skor , 5.0 , ima kategorija 1 (MAKSKAT=1), ANKILOZIRAJUĆI SPONDILITIS, sledeći, 3.4, kategorija 3 (DRUGKAT=3), REITER-OVA BOLEST, itd. Pošto je unapred odredjena vrednost praga E=5.0 , ovim se ujedno i zaključuje konsultativni proces.

BIBLIOGRAFIJA

- 1 Aho, A. V., et al. 1974. The design analysis of computer algorithms. Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- 2 Aikins, J. S. 1979. Prototypes and production rules: An approach to knowledge representation for hypothesis formation. IJCAI 6, 1-3.
- 3 Aikins, J. 1980. Prototypes and production rules: A knowledge representation for computer consultations. Rep. No. STAN-CSD-80-814, computer Science Dept., Stanford University. (Doctoral dissertation.)
- 4 Alty, J. L. and Coombs, M. J. 1984. Expert systems: concepts and examples, NCC Publications, John Wiley and Sons, Ltd.
- 5 Amarel, S. 1968. On representations of problems of reasoning about actions. U D. Michie (Ed.), Machine Intelligence 3. New York: American Elsevier, 131-171.
- 6 Anderson, J., and Bower, G. 1973. Human associative memory. Washington, D.C.: Winston.
- 7 Armer, P. 1963. Attitudes toward intelligent machines. U E. Feigenbaum and J. Feldman (Eds.), Computers and Thought. New York: McGraw-Hill.
- 8 Barnett, J. A. 1981. Computational methods for a mathematical theory of evidence. IJCAI 7, 868-875.
- 9 Barr, A., Bennet, J., and Clancey, W. 1979. Transfer of expertise: A theme for AI research. Rep. No. HPP-79-11, Heuristic Programming Project, Stanford University.
- 10 Barr, A., and Feigenbaum, E. A. 1981. The Handbook of Artificial Intelligence. Los Altos, Calif.: William Kaufmann, Inc. Vols. I, II.
- 11 Barstow, D. R. 1979. Knowledge-based program construction. New York: American Elsevier.
- 12 Beale, E. M. L. 1970. Selecting an optimum subset. U Abadie, J. (Ed.), Integer and Nonlinear Programming. Amsterdam: North-Holland.
- 13 Beale, E. M. L. et al. 1967. The discarding of variables in multivariate analysis. Biometrika, 54:357-366.
- 14 Ben-Bassat, M., and Lipnick, E. 1977. Diagnosis and Treatment in MEDAS. Proc. ACM, 96-100.
- 15 Bennet, J. S., et al. 1978. SACON: A knowledge-based consultant in structural analysis. Heuristic Programming Project Rep. No. HPP-78-23, Computer Science Dept., Stanford University.
- 16 Bleich, H. L. 1972. Computer-based consultation: electrolyte and acid-base disorders. AJM 53:285.
- 17 Blum, R. L., and Weiderhold, G. 1978. Inferring knowledge from clinical data banks: Utilizing techniques from artificial intelligence. U Proceedings of the Second Annual Symposium on Computer Applications in Medical Care, IEEE, Washington, D.C., 303-307
- 18 Bobrow, D. G. (Ed.), 1980. Special issue on non-monotonic logic. Artificial Intelligence 13 (1,2).
- 19 Bobrow, D. G., and Collins, A. 1974. Representation and Understanding. New York: Academic Press.
- 20 Bobrow, D. G., and Raphael, B. 1974. New programming languages for artificial intelligence. Computing Surveys 6.
- 21 Brachman, R. J. 1978. On the epistemological status of semantic networks. BBN Rep. No. 3807, Bolt, Beranek and Newman, Inc., Cambridge, Mass.

- 22 Bratko, I., Kopec, D., and Michie, D. 1978. Pattern-based representation of chess end-game knowledge. *Computer J.* 21:149-153.
- 23 Brook, R. 1983. Quality of care assesment measurement issues. U Doknić-Stefanović (Ed.), *Technology in the Health Care System*. Belgrade: Institute of Social Medicine, Statistics and Health Research, 49-67.
- 24 Buchanan, B. G. 1976. Scientific theory formation by computer. *Proceedings of NATO Advanced Study Institute on Computer Oriented Learning Processes*. Noordhoff, Leydon. 515-530.
- 25 Buchanan, B. G., and Feigenbaum, E. A. 1978. DENDRAL and Meta-DENDRAL: Their applications dimension. *Journal of Artificial Intelligence* 11:5-24.
- 26 Buchanan, B. G., and Mitchell, T. M. 1978. Model directed learning of production rules. U D. A. Waterman and F. Hayes-Roth (Eds.), *Pattern-directed inference systems*. New York: Academic Press. 297-312.
- 27 Buchanan, B. G., et al. 1969. Heuristic DENDRAL: A program for generating explanatory hypotheses in organic chemistry. U B. Meltzer and D. Michie (Eds.), *Machine Intelligence 4*. Edinburgh: Edinburgh University Press. 209-254.
- 28 Buchanan, B. G., et al. 1970. Rediscovering some problems of artificial intelligence in the context of organic chemistry. U B. Meltzer and D. Michie (Eds.), *Machine Intelligence 5*. Edinburgh: Edinburgh University Press. 253-280.
- 29 Buchanan, B. G., et al. 1976. Application of artificial intelligence for chemical inference XXII. Automatic rule formation in mass spectrometry by means of the Meta-Dendral program. *Journal of the American Chemical Society* 98:6168-6178.
- 30 Buchanan, B. G., et al. 1977. Models of learning systems. U J. Beltzer, A. G. Holzman, and A. Kent (Eds.), *Encyclopedia of computer science and technology* (Vol. 11). New York: Marcel Dekker. 24-51.
- 31 Catell, R. B. 1966. The scree test for the number of factors. *Multivariate Behav. Res.*, 1:245-276.
- 32 Clansey, W. J., and Letsinger, R. 1981. NEOMYCIN: Reconfiguring a rule-based expert system for application to teaching. *IJCAI* 7, 829-836.
- 33 Clansey, W. J. 1978. An antibiotic therapy selector which provides for explanations. Heuristic Programming Project Memo HPP-78-26, Computer Science Dept., Stanford University.
- 34 Clayton, P. D., et al. 1985. HELP: A medical information system with decision system capability. U Reichertz, P. C., and Lindberg, D. A. B. (Eds.), *Lecture Notes in Medical Informatics* 25. Berlin: Springer-Verlag. 127-132.
- 35 Cohen, P. R., and Feigenbaum, E. A. 1982. *The Handbook of Artificial Intelligence*. London: Pitman.
- 36 Cox, D. R., and Hinkley, D. V. 1974. *Theoretical Statistics*. London: Chapman and Hall.
- 37 Crowder, R. G. 1976. *Principles of learning and memory*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.

- 38 Dacey, R. 1978. A theory of conclusions. *Philosophy of Science* 45:563-574.
- 39 Damerau, F. J. 1979. The transformational question answering (TQA) system: Operational statistics - 1978. Rep. No. RC-7739 (No. 33522), Computer Sciences Dept., Thomas J. Watson Research Center, IBM, Yorktown Heights, N.Y.
- 40 Date, C. J. 1977. *An introduction to database systems* (2nd ed.). Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- 41 Davis, R. 1980. Applications of meta level knowledge to the construction, maintenance, and use of large knowledge bases. U R. Davis and D. B. Lenat (Eds.), *Knowledge based systems in artificial intelligence*. New York: McGraw-Hill.
- 42 Davis, R. 1978. Knowledge acquisition in rule-based systems: Knowledge about representations as a basis for system construction and maintenance. U D. A. Waterman and F. Hayes-Roth (Eds.), *Pattern-directed inference systems*. N.Y.: Academic Press. 99-134.
- 43 Davis, R., and King, J. J. 1977. An overview of production systems. U E. Elcock and D. Michie (Eds.), *Machine Intelligence* 8. Chichester, England: Ellis Horwood, 300-332.
- 44 Davis, R., and Lenat, D. B. 1982. *Knowledge-Based Systems in Artificial Intelligence*. N.Y.: McGraw-Hill.
- 45 Davis, R., et al. 1977. Production rules as a representation for a knowledge-based consultation system. *Artificial Intelligence* 18:15-45.
- 46 De Dombal, F.T. 1983. Towards a More Objective Evaluation of Computer-Aided Decision Support Systems. U van Bommel/Ball/Wigertz, (Eds.), *MEDINFO-83*. Amsterdam: North-Holland, 436-440.
- 47 De Groot, M. H. 1970. *Optimal Statistical Decisions*. N.Y.: McGraw-Hill.
- 48 De Kleer, J., et al. 1979. Explicit control of reasoning. U P. H. Winston and R. H. Brown (Eds.), *Artificial intelligence: An MIT perspective* (Vol. 1). Cambridge, Mass.: MIT Press, 93-116.
- 49 Dickson, D. 1983. Technology and cycles of boom and bust. *Science* 219:933-936.
- 50 Dietterich, T. G., and Michalski, R. S. 1981. Inductive learning of structural descriptions: Evaluation criteria and comparative review of selected methods. *Artificial Intelligence* 16:257-294.
- 51 Dietterich, T. G., and Michalski, R. S. 1979. Learning and generalization of characteristic descriptions: Evaluation criteria and comparative review of selective methods. *IJCAI* 6, 223-231.
- 52 Doran, J. E. 1967. An approach to automatic problem solving. U N. L. Collins and D. Michie (Eds.), *Machine Intelligence* 1. New York: American Elsevier, 105-123.
- 53 Doran, J. E., and Michie, D. 1966. Experiments with the graph traverser program. *Proceedings of the Royal Society of London* (Series A) 294:235-259.
- 54 Doyle, J. 1979. A truth maintenance system. *Artificial Intelligence* 12:231-272.
- 55 Doyle, J., and London, P. 1980. A selected descriptor-induced bibliography to the literature on belief revision. *SIGART Newsletter* 71:7-23.

- 56 Dreyfus, H. L. 1972. What Computers can't do. New York: Harper and Row.
- 57 Duda, R. O., and Gasching, J. G. 1981. Knowledge-based systems come of age. *BYTE* 6:238-281.
- 58 Duda, R. O., et al. 1978. Development of the PROSPECTOR consultation system for mineral exploration. Final Report, SRI International, Inc. Menlo Park, Calif.
- 59 Duda, R. O., and Hart, P. E. 1973. Pattern classification and scene analysis. New York: Wiley.
- 60 Engle, R. L., et al. 1976. HEME: A Computer Aid to Diagnosis of Hematologic Disease. *Bull. N.Y. Acad. Med.*, 52: No.5.
- 61 Fagan, L. 1979. Knowledge engineering for dynamic clinical settings: Giving advice in the intensive care unit. Doctoral dissertation, Computer Science Dept., Stanford University.
- 62 Feigenbaum, E. A. 1977. The art of artificial intelligence: themes and case studies in knowledge engineering. *IJCAI* 5, 1014-1029.
- 63 Feigenbaum, E. A., and Feldman, J. (Eds.), 1963. Computers and Thought. New York: McGraw-Hill.
- 64 Feinstein, A. R. 1977. The Haze of Bayes, the Aerial Palaces of Decision Analysis, and the Computerized Ouija Board. *Clinical Biostatistics*, 21:482-496.
- 65 Fieschi, M., et al. 1983. SPHINX: A Production Rules Expert System For Medical Consultations. U van Bommel/Ball/Wigertz, (Eds.), *MEDINFO-83*. Amsterdam: North-Holland, 503-507.
- 66 Forsyth, R. (Ed.), 1984. Expert systems: principles and case studies. London: Chapman and Hall.
- 67 Friedberg, R. M. 1958. A learning machine: Part I. *IBM J. Research and Development* 2:2-13.
- 68 Friedberg, R. M., et al. 1959. A learning machine: Part II. *IBM J. Research and Development* 3:282-287.
- 69 Fu, K. S. 1970a. Statistical pattern recognition. U J. M. Mendel and K. S. Fu (Eds.), *Adaptive, learning, and pattern recognition systems*. New York: Academic Press, 35-80.
- 70 Fu, K. S. 1974. Syntactic methods in pattern recognition. New York: Academic Press.
- 71 Fukunaga, K. 1972. Introduction to statistical pattern recognition. New York: Wiley.
- 72 Gonzales, R. C., and Thompson, M. G. 1978. Syntactic pattern recognition. Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- 73 Good, I. J. 1968. A five-year plan for automatic chess. U E. Dale and D. Michie (Eds.), *Machine Intelligence 2*. New York: American Elsevier, 89-118.
- 74 Gordon, J., and Shortliffe, E. H. 1985. A Method for Managing Evidential Reasoning in a Hierarchical Hypothesis Space. *Artificial Intelligence* 26:323-358.
- 75 Gorry, G. A., and Barnett, G. O. 1968. Experience with a model of sequential diagnosis. *Comput. Biomed. Res.*, 1:490-507.
- 76 Gorry, G. A., et al. 1978. Capturing Clinical Expertise: A Computer Program that Considers Clinical Responses to Digitalis. *American J. of Medicine*, 64:452-460.

- 77 Gumb, R. D. 1978. Summary of research on computational aspects of evolving theories. SIGART Newsletter 67:13.
- 78 Gumb, R. D. 1979. Evolving theories. New York: Haven.
- 79 Harris, L. R. 1977. ROBOT: A high performance natural language processor for data base query. SIGART Newsletter 51:39-40.
- 80 Harris, L. R. 1973. The bandwidth heuristic search. IJCAI 3, 23-29.
- 81 Harris, L. R. 1974. The heuristic search under conditions of error. Artificial Intelligence 5:217-234.
- 82 Hayes-Roth, F., et al. 1978. Machine methods for acquiring, learning and applying knowledge. Rand Paper P-6241, Rand Corp., Santa Monica, Calif.
- 83 Hayes-Roth, F., et al. 1980. Knowledge acquisition, knowledge programming and knowledge refinement. Rand Paper R-2540-NSF, Rand Corp., Santa Monica, Calif.
- 84 Hayes-Roth, F., Klahr, P., and Mostow, D. 1981. Advice-taking and knowledge refinement: An iterative view of skill acquisition. U. J. R. Anderson (Ed.), Cognitive skills and their acquisition. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum, 231-253.
- 85 Hayes-Roth, F., and McDermott, J. 1977. Knowledge acquisition from structural descriptions. IJCAI 5, 356-362.
- 86 Hayes-Roth, F., Waterman, D. A., and Lenat, D. B. (Eds.), 1982. Building expert systems.
- 87 Heiser, J. F., Brooks, R. E., and Ballard, J. P. 1978. Progress report: A computerized psychopharmacology advisor. Proceedings of the Eleventh Collegium Internationale Neuro-Psychopharmacologicum. Vienna, Austria.
- 89 Hendrix, G. G., and Lewis, W.H. 1981. Transportable natural language interfaces to databases. Proceedings of the Ninetenth Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, Stanford University.
- 88 Hendrix, G. G., and Sacerdoti, E. D. 1981. Natural-language processing: The field in perspective. BYTE 6:304-352.
- 90 Hewitt, C. 1975. How to use what you know. IJCAI 4, 189-198.
- 91 Hollander, J. L., and McCarthy, D. J. 1972. Arthritis and allied conditions. Philadelphia: Lea and Febiger.
- 92 Jackson, P. C. 1974. Introduction to artificial intelligence. New York: Petrocelli.
- 93 Jacquez, J. A. (Ed.), 1964. The diagnostic process. Proceedings of a conference sponsored by the Biomedical Data Processing Training Program. Ann Arbor: University of Michigan Medical School.
- 94 Johnson, P. E., et al. 1981. Expertise and Error in Diagnostic Reasoning. Cognitive Science 5:235-285.
- 95 Jolliffe, I. T. 1972. Discarding variables in principal component analysis I: artificial data. Appl. Statistics 21:160-173.
- 96 Jolliffe, I. T. 1973. Discarding variables in principal component analysis II: real data. Appl. Statistics 22:21-23.
- 97 Kaiser, H. F. 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. Psychometrika 23:187-200.
- 98 Karp, R. M. 1972. Reductibility among combinatorial problems. U. R. E. Miller and J. W. Thatcher (Eds.), Complexity of computer computations. New York: Plenum Press, 85-103.

- 99 Keen, P., and Scott Morton A. 1978. *Decision Support Systems - An Organizational Perspective*. Reading, Mass.: Addison Weekly.
- 100 Kingsland, G., et al. 1983. Testing of a Criteria-Based Consultant System in Rheumatology. U van Bommel/Ball/Wigertz, (Eds.), MEDINFO-83. Amsterdam: North-Holland, 514-518.
- 101 Klein, M. I. 1982. My Opinion. Amer. Med. Assoc., AMA News, December 10.
- 102 Kononenko, I., Bratko, I., Zwitter, M. 1983. Eksperimenti z avtomatskim učenjem medicinskih dijagnostičkih pravil. U Bratko, I. (Ur.), *Sistemi in tehnike umetne inteligence*. Ljubljana: Univerza E. Kardelja.
- 103 Kowalski, R. 1972. And-or graphs, theorem-proving graphs, and bi-directional search. U B. Meltzer and D. Michie (Eds.), *Machine Intelligence 7*. New York: Wiley, 167-194.
- 104 Koyama, T., and Kaihara, S. 1983. MECS-AI: Development of a General Purpose Medical Consultation System. U van Bommel/Ball/Wigertz, (Eds.), MEDINFO-83. Amsterdam: North-Holland, 507-511.
- 105 Kulikowski, C. A. 1983. Progress in Expert AI Medical Consultation Systems: 1980-1983. U van Bommel/Ball/Wigertz, (Eds.), MEDINFO-83. Amsterdam: North-Holland, 499-503.
- 106 Kunz, J., et al. 1978. A physiological rule-based system for interpreting pulmonary function test results. Heuristic Programming Project Rep. No. HPP-78-19. Computer Science Dept., Stanford University.
- 108 Ledley, R. S. 1969. Practical Problems in the Use of Computers in Medical Diagnosis. *Proc. IEEE*, 57:1900-1919.
- 107 Ledley, R. S., and Lusted, L. B. 1959. Reasoning Foundation of Medical Diagnosis: Symbolic Logic, Probability and Value Theory and Our Understanding of How Physicians Reason. *Science*, 130:9.
- 109 Lenat, D. B. 1977. On automated scientific theory formation: A case study using AM program. U J. E. Hayes, D. Michie, and L. I. Mikulich (Eds.), *Machine Intelligence 9*. New York: Halsted Press, 251-286.
- 110 Lenat, D. B. 1980. The nature of heuristics. Rep. No. HPP-80-26. Heuristic Programming Project. Computer Science Dept., Stanford University.
- 111 Lenat, D. B., et al. 1979. Cognitive economy in artificial intelligence systems. *IJCAI* 6, 531-536.
- 112 Lenat, D. B., and McDermott, J. 1977. Less than general production system architectures. *IJCAI* 5, 928-932.
- 113 Lichter, P., and Anderson, D. 1976. *Discussion on Glaucoma*. Phila.: Grune and Stratton.
- 114 Limić, B., and Srdanović, V. 1983. Consultative Computer System as an Aid in Medical Decision Making. U van Bommel/Ball/Wigertz, (Eds.), MEDINFO-83. Amsterdam: North-Holland, 511-514.
- 115 Lindberg, D. A. B., et al. 1980 Computer based rheumatology consultant. In the Syllabus for the tutorial on computers in medicine: Applications of artificial intelligence techniques, Stanford University School of Medicine.
- 116 Lindsay, R., et al. 1980. DENDRAL. New York: McGraw-Hill.
- 117 Lister, J. 1983. The British medical scene since 1980. *N. Engl. J. Med.* 308:532-535.

- 118 Lusted, L. B. 1968. Introduction to Medical Decision Making. Springfield, Illinois: Charles c. Thomas.
- 119 Lusted, L. B. 1983. Design for Decisions - A 25 Year Perspective. U van Bommel/Ball/Wigertz, (Eds.), MEDINFO-83. Amsterdam: North-Holland, XI-XVI
- 120 Mardia, K. V., et al. 1979. Multivariate Analysis. London: Academic Press.
- 121 Marinković, J., i Srdanović, V. 1983. Modelovanje kao mogućnost optimizacije terapijskih postupaka. U Tehnologija u zdravstvenoj zaštiti. RSIZ zdravstvene zaštite - Beograd, Beograd.
- 122 Mathlab Group. 1977. MACSYMA reference manual. Computer Science Laboratory, MIT.
- 123 McCarthy, J. 1960. Recursive functions of symbolic expressions and their computation by machine. CACM 4:184-195.
- 124 McCarthy, J. 1958. Programs with common sense. U Proceedings of the Symposium on the Mechanization of Thought Processes. National Physical Laboratory 1:77-84.
- 125 McCarthy, J. 1963. A basis for a mathematical theory of computation. U P. Braffort and D. Hirschberg (Eds.), Computer programming and formal systems. Amsterdam: North-Holland.
- 126 McCarthy, J. 1968. Programs with common sense. U M. Minsky (Ed.), Semantic information processing. Cambridge, Mass.: MIT Press, 403-409.
- 127 McCarthy, J. 1980. Circumscription - A form of non-monotonic reasoning. Artificial Intelligence 13:27-39.
- 128 McCarthy, J. 1978. History of LISP. SIGPLAN Notices 13:217-223.
- 129 McCarthy, J., et al. 1962 LISP 1.5 programmer's manual. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- 130 McCorduck, P. 1979. Machines who think. San Francisco: Freeman.
- 131 McDermott, D. 1980. Non-monotonic logic II: Non-monotonic modal theories. Rep. No. 174. Computer Science Dept., Yale University.
- 132 McDermott, D., and Doyle, J. 1980. Non-monotonic logic I. Artificial Intelligence 13:41-72.
- 133 McDermott, J., Newell, A., and Moore, J. 1978. The efficiency of certain production system implementations. U Waterman and Hayes-Roth (Eds.), Pattern-directed inference systems. New York: Academic Press. 155-176.
- 134 Michalski, R. S. 1975. Variable-valued logic and its applications to pattern recognition and machine learning. U D. C. Rine (Ed.), Computer science and multiple-valued logic theory and applications. Amsterdam: North-Holland, 506-534.
- 135 Michalski, R. S. 1975. Policy Analysis and Information Systems 4: 125-161.
- 136 Michie, D. 1984. Automatic learning. Presented at CAS International Seminar on AI, Dubrovnik.
- 137 Michie, D. 1984. Practical aspects of machine learning. Presented at CAS International Seminar on AI, Dubrovnik.
- 138 Miller, L. 1978. Has artificial intelligence contributed to an understanding of the human mind? A critique of arguments for and against. Cognitive Science 2:111-127.
- 139 Miller, R. A., People, H. E., and Myers, J. D. 1982. INTERNIST-I, An Experimental Computer-Based Diagnostic Consultant for General Internal Medicine. N. Engl. J. Med. 307: 468-476.
- 140 Minsky, M. 1961. Steps toward artificial intelligence. Proceedings of the Institute of Radio Engineers, 49:8-30.

- 141 Minsky, M. 1975. A framework for representing knowledge. U P. H. Winston (Ed.), *The psychology of computer vision*. New York: McGraw-Hill, 211-277.
- 142 Minsky, M. L. (Ed.), 1968. *Semantic information processing*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- 143 Mitchell, T. M. 1977. Version spaces: An approach to rule revision during rule induction. *IJCAI* 5, 305-310.
- 144 Mitchell, T. M. 1978. Version spaces: An approach to concept learning. Rep. No. CS-78-711, Computer Science Dept., Stanford University.
- 145 Mitchell, T. M., and Schwenzer, G. M. 1978. Applications of artificial intelligence for chemical inference XXV: A computer program for automated empirical ¹³C NMR rule formation. *Organic Magnetic Resonance* 8:378.
- 146 Mitchell, T. M., et al. 1983. Learning problem-solving heuristics by experimentation. U R. S. Michalski, T. M. Mitchell, and J. Carbonell (Eds.), *Machine learning*. Palo Alto, Calif.: Tioga.
- 147 Mitchell, T. M., et al. 1981. Learning problem-solving heuristics through practice. *IJCAI* 7, 127-134.
- 148 Mostow, D. J. 1983. Using the heuristic search method. U R. S. Michalski et al. (Eds.), *Machine learning*. Palo Alto, Calif.: Tioga.
- 149 Mostow, D. J., and Hayes-Roth, F. 1979a. Machine-aided heuristic programming: A paradigm for knowledge engineering. Rep. No. Rand N-1007-NSF, Rand Corp., Santa Monica, Calif.
- 150 Kononenko, I., Bratko, I., Zwitter, M. 1983. Eksperimenti z avtomatskim učenjem medicinskih dijagnostičkih pravil. U I. Bratko (Ur.), *Sistemi in tehnike umetne inteligence*. Ljubljana: Univerza E. Kardelja.
- 151 Newell, A. 1975. Artificial Intelligence (AI). U Newell/McDermott/Forgy (Eds.), *Artificial Intelligence - A Self-Paced Introductory Course*, 1977. Pittsburgh: Dept., of Computer Science, CMU.
- 152 Newell, A. 1980. Physical Symbol Systems. *Cognitive Science* 4:135-185.
- 153 Newell, A. 1973b. Production systems: models of control structure. U W. Chase (Ed.), *Visual information processing*. New York: Academic Press, 463-526.
- 154 Newell, A. 1978. HARPY: Production systems and human cognition. Rep. CMU-CS-78-140, Dept. of Computer Science. Pittsburgh: Carnegie-Mellon University.
- 155 Newell, A. 1970. Remarks on the relationship between artificial intelligence and cognitive psychology. U R. B. Banerji and M. D. Mearovic (Eds.), *Theoretical approaches to non-numerical problem solving*. Berlin: Springer-Verlag.
- 156 Newell, A., and Ernst, G. 1965. The search for generality. U W. A. Kalenich (Ed.), *Information processing 65, Proceedings IFIP Congress 1965*. Washington, D. C.: Spartan books, 17-24.
- 157 Newell, A., and Simon, H. A. 1972. *Human problem solving*. Englewoog Cliffs, N.J.: Prentice Hall
- 158 Newell, A., and Simon, H. A. 1976. Computer science as empirical inquiry: Symbols and search. (The 1976 ACM Turing Lecture.) *CACM* 19:113-126.

- 159 Newell, A., and Simon, H. A. 1956. The logic theory machine. IRE Transactions on Information Theory 2:61-79.
- 160 Newell, A., and Simon, H. A. 1961. GPS, a program that simulates human thought. U Lernende Automaten. Munich: R. Oldenbourg KG.
- 161 Newell, A., Shaw, J. C., and Simon, H. A. 1960. A variety of intelligent learning in a general problem-solver. U M. C. Yovits and S. Cameron (Eds.), Self-organizing systems. New York: Pergamon Press, 153-189.
- 162 Newell, A., Shaw, J. C., and Simon, H. A. 1957. Empirical explorations with the Logic Theory Machine. Proceedings of the Western Joint Computer Conference 15:218-239.
- 163 Nii, H. P., and Aiello, N. 1979. AGE (Attempt to GEneralize): A knowledge-based program for building knowledge-based programs. IJCAI 6, 645-655.
- 164 Nilsson, N. J. 1965. Learning machines. New York: McGraw-Hill.
- 165 Nilsson, N. J. 1971. Problem-solving methods in artificial intelligence. New York: McGraw-Hill.
- 166 Nilsson, N. J. 1980. Principles of artificial intelligence. Palo Alto, Calif.: Tioga.
- 167 Norman, D. A. 1980. Twelve Issues for Cognitive Science. Cog. Science 4:1-33.
- 168 Norman, D. A., et al. 1975. Explorations in cognition. San Francisco: Freeman.
- 169 Parezanović, N. 1985. Uvod u programiranje i BASIC. Beograd: Naučna knjiga.
- 170 Patrick, E. A., and Shen, L.Y. L. 1975. A Systems Approach to Applying Pattern Recognition to medical Diagnosis., Purdue University Medical Computing Program: TR-EE 75-112.
- 171 Pauker, S., et al. 1976. Towards the simulation of clinical cognition - Taking a present illness by computer. American Journal of Medicine 60:981-996.
- 172 Pavlidis, T. 1977. Structural pattern recognition. Berlin: Springer-Verlag.
- 173 Pohl, I. 1969. Bi-directional heuristic search in path problems. SLAC Rep. No. 104, Stanford Linear Accelerator Center, Stanford, Calif.
- 174 Pohl, I. 1970a. First results on the effect of error in heuristic search. U B. Meltzer and D. Michie (Eds.), Machine Intelligence 5. New York: American Elsevier, 219-236.
- 175 Pohl, I. 1970b. Heuristic search viewed as path finding in a graph. Artificial Intelligence 1:139-204.
- 176 Pohl, I. 1977. Practical and theoretical considerations in heuristic search algorithms. U E. W. Elcock and D. Michie (Eds.), Machine Intelligence 8. New York: Wiley, 55-72.
- 177 Polya, G. 1957. How to solve it (2nd ed.). New York: Doubleday Anchor.
- 178 Pople, H. E. 1977. The formation of composite hypotheses in diagnostic problem solving - An exercise in synthetic reasoning. IJCAI 5, 1030-1037.
- 179 Pople, H. E. 1978. Technology aided diagnosis. Presented at CAS International Seminar on Technology in the Health Care System, Dubrovnik.

- 180 Pople, H. E. 1982. Heuristic methods for imposing structure on ill-structured problems: the structuring of medical diagnostics. U Szolovits, P. (Ed.), *Artificial Intelligence in Medicine*, AAAS Symposium Series, Boulder, Colo.: Westview Press, 119-185.
- 181 Pople, H. E., Myers, J. D., Miller, R. A. 1975. DIALOG: A Model of diagnostic logic for internal medicine. *IJCAI* 4:848-855.
- 182 Post, E. 1943. Formal reduction of the general combinatorial problem. *American Journal of Mathematics* 65:197-268.
- 183 Quillian, M. R. 1968. Semantic memory. In M. Minsky (Ed.), *Semantic information processing*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 216-270.
- 184 Quinlan, J. R. 1979. Induction over large data bases. Re. No. HPP-79-14, Heuristic Programming Project, Computer Science Dept., Stanford University.
- 185 Quinlan, J. R. 1983. Inductive inference as a tool for the construction of high-performance programs. U R. S. Michalski et al. (Eds.), *Machine learning*. Palo Alto, Calif.: Tioga.
- 186 Radanović, L., Božović, Z., and Srdanović, V. 1983. A MUMPS Based Entity-Relationship Model for a Clinical Database. U van Bommel/Ball/Wigertz, (Eds.), *MEDINFO-83*. Amsterdam: North-Holland, 1106-1110.
- 187 Radanović, Lj., Božović, Z., Srdanović, V. 1982. Prepoznavanje binarnih strukturai medicinska dijagnostika. U *Multidisciplinarne nauke i njihova uloga u naučno-tehničkom progresu*. (Zbornik radova.) Beograd: CMSUB, 185-190.
- 188 Rao, C. R. 1973. *Linear statistical inference and its applications*. New York: Wiley.
- 189 Reggia, J. A. 1983. Artificial Intelligence and Medical Decision Making. U van Bommel/Ball/Wigertz, (Eds.), *MEDINFO-83*. Amsterdam: North-Holland, 476-480.
- 190 Reggia, J. A. 1982. Physicians Build Medical Expert Systems With KMS. *National Report on Computers and Health*, 16: 1-4.
- 191 Reiter, J. 1980. AL/X: an expert system using plausible inference. University of Edinburgh Machine Intelligence Research Unit.
- 192 Robinson, J. A., and Sibert, E. E. 1980. Logic programming in LISP. School of Computer and Information Science, Syracuse University.
- 193 Rushmer, R. F. 1972. *Medical engineering - projections for health care delivery*. New York: Academic Press.
- 194 Ruth, S. R. 1983. Medical-related Information Systems: A Decision Support System Perspective. U van Bommel/Ball/Wigertz, (Eds.), *MEDINFO-83*. Amsterdam: North-Holland, 492-495.
- 195 Sacerdoti, E. D. 1977. Language access to distributed data with error recovery. *IJCAI* 5, 196-202.
- 196 Sacerdoti, E. D. 1979. Problem solving tactics. Tech. Note 189, SRI International, Inc., Menlo Park, Calif.
- 197 Safrans, C., Desforages, J., and Tsichlis, P. 1976. Diagnostic planning and cancer management. Rep. No. TR-169, Laboratory for Computer Science, MIT. Cambridge, Mass.
- 198 Samuel, A. L. 1959. Some studies in machine learning using the game of checkers. *IBM Journal of Research and Development*, 3:211-229.

- 199 Samuel, A. L. 1967. Some studies in machine learning using the game of checkers. II - Recent progress. IBM J. Res. and Dev. 11:601-617.
- 200 Sandewall, E. J. 1971. Heuristic search: Concepts and methods. U N. V. Findler and B. Meltzer (Eds.), Artificial intelligence and heuristic programming. New York: American Elsevier, 81-100.
- 201 Schank, R. C., and Riesbeck, C. K. 1981. Inside computer understanding. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum.
- 202 Selfridge, O., and Neisser, U. 1960. Pattern recognition by machine. Scientific American 203:60-68.
- 203 Shafer, G. A. 1976. A Mathematical Theory of Evidence. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- 204 Shannon, C. E. 1950. Programming a computer for playing chess. Philosophical Magazine (Series 7) 41:256-275.
- 205 Shannon, C. E. 1956. A chess-playing machine. U R. Newman (Ed.), The world of mathematics (Vol. 4). New York: Simon and Schuster, 2124-2133.
- 206 Shortliffe, E. H. 1976. Computer based medical consultations: MYCIN. New York: American Elsevier.
- 207 Shortliffe, E. H., Buchanan, B. G., and Feigenbaum, E. A. 1979. Knowledge engineering for medical decision making: A review of computer-based clinical decision aids. Proceedings of the IEEE 67:1207-1224.
- 208 Shortliffe, E. H., et al. 1981. ONCOCIN: An expert system for oncology protocol management. IJCAI 7.
- 209 Shortliffe, E. H. 1983. Hypothesis Generation in Medical Consultation Systems: Artificial Intelligence Approaches. U van Bommel/Ball/Wigertz, (Eds.), MEDINFO-83. Amsterdam: North-Holland, 480-484.
- 210 Silverman, H. 1975. A digitalis therapy advisor. Rep. No. TR-143, MAC Project, Computer Science Dept., MIT.
- 211 Simmons, R. F. 1973. Semantic networks: Their computation and use for understanding English sentences. U Schank, R. C., and Colby, K. M. (Eds.), Computer models of thought and language. San Francisco: Freeman, 63-113.
- 212 Simon, H. A. 1979b. Models of thought. New Haven, Conn.: Yale University Press.
- 213 Simon, H. A. 1983. Why should machines learn? U R. S. Michalski et al. (Eds.), Machine learning. Palo Alto, Calif.: Tioga.
- 214 Simon, H. A., and Lea, G. 1974. Problem solving and rule induction: A unified view. U L. Gregg (Ed.), Knowledge and cognition. Hillsdale, N. J.: Lawrence Erlbaum, 105-127.
- 215 Simon, H. A. 1971. Central issues in designing management information systems. U Radanović, Lj. (Ed.), Organizations and Computers. Belgrade: CAS 88-127.
- 216 Simon, H. A. 1973. The Structure of Ill Structured Problems. Artificial Intelligence 4:181-201.
- 217 Simon, H. A. 1980. Cognitive Science: The Newest Science of the Artificial. Cognitive Science 4:33-47.
- 218 Simon, H. A., and Kadane, J. B. 1975. Optimal problem-solving search: All-or-none solutions. Artificial intelligence 6:235-247.

- 219 Slagle, J. 1963. A heuristic program that solves symbolic integration problems in freshman calculus. U E. Feigenbaum and J. Feldman (Eds.), *Computers and Thought*. New York: McGraw-Hill.
- 220 Slagle, J. R. 1971. *Artificial intelligence: The heuristic programming approach*. New York: McGraw-Hill.
- 221 Sloman, A. 1971. Interactions between philosophy and AI: The role of intuition and non-logical reasoning in intelligence. *Artificial Intelligence* 2:209-225.
- 222 Spiegelhalter, D. J. 1983. Evaluation of Clinical Decision-Aids with an application to a System for Dyspepsia. *Statistics in Medicine*.
- 223 Srdanović, V. 1984. Integrating Knowledge and Data Bases in a Medical Expert System. Presented at CAS International Seminar on Artificial Intelligence, Dubrovnik.
- 224 Srdanović, V., and Limić, B. 1985. A Computer-Based Consultation System in Rheumatology. *Automatika* 26:213-216.
- 225 Srdanović, V., and Limić, B. 1982. Decision Supporting System for Screening Patients for Certain Rheumatic Disorders. U Lindberg, D. A. B., and Reichertz, P. L. (Eds.), *Lecture Notes in Medical Informatics* 16. Springer-Verlag, 484-489.
- 226 Srdanović, V., and Limić, B. 1985. An Expert Consultation System to Aid Clinical Diagnoses. U Lindberg, D. A. B., and Reichertz, P.L. (Eds.), *Lecture Notes in Medical Informatics* 25. Springer-Verlag, 139-143.
- 227 Sridharan, N. S. 1978. Special issue on applications in the sciences and medicine. *AI Journal* 1(1,2):195.
- 228 Stefik, M. J. 1979. An examination of a frame-structured representation system. *IJCAI* 6, 845-852.
- 229 Stefik, M. J. 1980. Planning with constraints. Rep. No. 80-784, Computer Science Dept., Stanford University. (Doctoral dissertation.)
- 230 Stojiljković, Z. 1982. Primena prepoznavanja oblika za ocenu dominantnih parametara u medicinskoj dijagnostici. U *Multidisciplinarne nauke u naučno-tehničkom progresu. (Zbornik radova.)* Beograd: CMSUB, 191-198.
- 231 Stojiljković, Z. 1978. Metodologija definisanja i rešavanja problema prepoznavanja oblika. ETAN, Zadar.
- 232 Sussman, G. J., and McDermott, D. V. 1972a. Why conniving is better than planning. AI Memo 255A, AI Laboratory, MIT.
- 233 Sussman, G. J., and McDermott, D. V. 1972b. From PLANNER to CONNIVER: a genetic approach. *AFIPS* 1171-1180.
- 234 Swanson, D. B., et al. 1977. Psychological Analysis of Physician Expertise: Implications for Design of Decision Support Systems. U Shires/Wolf (Eds.), *MEDINFO 77*. Amsterdam: North-Holland, 161-165.
- 235 Swartout, W. 1977b. A digitalis therapy advisor with explanations. *IJCAI* 5, 819-825.
- 236 Swartout, W. 1981. Explaining and justifying expert consulting programs. *IJCAI* 7, 815-822.
- 237 Szolovits, P., and Pauker, S. 1976. Research on a medical consultation program for taking the present illness. *Proceedings of the Third Illinois Conference on Medical Information Systems*.
- 238 Szolovits, P., and Pauker, S. G. 1978. Categorical and Probabilistic Reasoning in Medical Diagnosis. *Artificial Intelligence* 11:115-154.

- 239 Tarlov, A. R. 1982. AMA News, December 17:17.
- 240 Teitelman, W., et al. 1978. INTERLISP reference manual. Xerox PARC, Palo Alto, Calif.
- 241 Teitelman, W., and Masinter, L. 1981. The INTERLISP programming environment. IEEE Transactions on Computers C-14 (4):25-35.
- 242 Thompson, M.L. 1978. Selection of variables in multiple regression I II Int. Statist. Rev., 46, 1-20, 129-146.
- 243 Tomović, R. 1978. Clinical engineering. Presented at CAS International Seminar on Technology in the Health Care System, Dubrovnik.
- 244 Trigoboff, M. 1978. IRIS: A framework for the construction of clinical consultation systems. Doctoral dissertation, Computer Science Dept., Rutgers University.
- 245 Trigoboff, M., and Kulikowski, C. 1977. IRIS: A system for the propagation of inferences in a semantic net. IJCAI 5, 274-180.
- 246 Tsypkin, Y. Z. (Z. J. Nikolic, Trans.). 1973. Foundations of the theory of learning systems. New York: Academic Press.
- 247 Turing, A. M. 1950. Computing machinery and intelligence. Mind, 59:433-460.
- 248 Ullman, J. D. 1980. Principles of database systems. Potomac, Md.: Computer Science Press.
- 249 Vanderbrug, G., and Minker, J. 1975. State-space, problem-reduction, and theorem proving - Some relationships. CACM 18:197-115.
- 250 Van Melle, W. 1980. A domain independent system that aids in constructing consultation programs. Rep. No. STAN-SC-80-820, Computer Science Dept., Stanford University. (Doctoral dissertation).
- 251 Vere, S. A. 1978. Inductive learning of relational productions. U D. A. Waterman and Hayes-Roth (Eds.), Pattern-directed inference systems. New York: Academic Press.
- 252 Waltz, D. L. 1978. An English language question answering system for a large relational database. CACM 21:526-539.
- 253 Waltz, D. L. 1977. Natural language interfaces. SIGART Newsletter 61:16-64.
- 254 Warner, H. R., and Haug, P. 1983. Medical Data Acquisition Using an Intelligent Machine. U van Bommel/Ball/Wigertz, (Eds.), MEDINFO-83. Amsterdam: North-Holland, 582-584.
- 255 Warner, H. R., Rutherford, B. D., and Houtchens, B. 1972. A sequential Bayesian approach to history taking and diagnosis. Comp. Biomed. Res. 5:256-262.
- 256 Warren, D. H. D. 1981. Efficient processing of interactive relational database queries expressed in logic. Proceedings of the Conference on Very Large Databases, Cannes, France, 272-281.
- 257 Warren, D. H. D., et al. 1977. PROLOG - The language and its implementation compared with LISP. SIGART Newsletter 64:109-115.
- 258 Waterman, D. A. 1968. Machine learning of heuristics. Rep. No. STAN-CS-68-118, Computer Science Dept., Stanford University. (Doctoral dissertation.)
- 259 Waterman, D. A. 1970. Generalization learning techniques for automating the learning of heuristics. Artificial Intelligence 1:121-170.
- 260 Waterman, D. A., and Hayes-Roth, F. (Eds.). 1978. Pattern-directed inference systems. New York: Academic Press.

- 261 Weiss, S.M., and Kulikowski, C.A. 1979. EXPERT: A system for developing consultation models. *IJCAI* 6, 942-947.
- 262 Weis, S.M., et al. 1978. A model-based method for computer-aided medical decision making. *Artificial Intelligence* 11:145-172.
- 263 Weiss, S.M., et al. 1981. Developing microprocessor based expert models for instrument interpretation. *IJCAI* 7, 853-855.
- 264 Weiss, S., Kulikowski, C., and Safir, A. 1977. A model-based consultation system for long-term management of glaucoma. *IJCAI* 5, 826-832.
- 265 Winograd, T. 1972. *Understanding natural language*. New York: Academic Press.
- 266 Winograd, T. 1980b. What does it mean to understand language? *Cognitive Science* 4:209-241.
- 267 Winograd, T. 1982. *Language as cognitive process*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- 268 Winston, P.H. 1975. Learning structural descriptions from examples. U P.H. Winston (Ed.), *The psychology of computer vision*. New York: McGraw-Hill, 157-209.
- 269 Winston, P.H. 1977. *Artificial Intelligence*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- 270 Winston, P.H. 1984. *Artificial Intelligence* (2nd ed.). Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- 271 Winston, P.H., and Horn, B.K.P. 1981. *LISP*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- 272 Wortman, P.M. 1972. Medical Diagnosis: An Information Processing Approach. *Comput.Biomed.Res.*, 5:315-328.
- 273 York, C. 1983. *AMA News*, January 21:29.
- 274 Yu, V., et al. 1979 Antimicrobial Selection by Computer - A Blinded Evaluation by Infectious Disease Experts, *JAMA* 242: 1279-82.
- 275 Yu, V.L., et al. 1979. Evaluating the performance of a computer-based consultant. *Computer Programs in Biomedicine* 9:95-102.
- 276 Zadeh, L.A. 1965. Fuzzy Sets. *Information and Control* 8:338-353.
- 277 Feigenbaum, E.A. 1986. Autoknowledge: From File Servers to Knowledge Servers. U Salomon/Blum/Jorgensen (Eds.), *MEDINFO-86*. Amsterdam: North-Holland, XLIII-XLVI.
- 278 Kingsland, L.C., Lindberg, D.A.B. 1986. The Criteria Form of Knowledge Representation in Medical Artificial Intelligence. U Salomon/Blum/Jorgensen (Eds.), *MEDINFO-86*. Amsterdam: North-Holland, 12-16.
- 279 Srdanović, V. 1986. A Consultation System Integrating Knowledge and Data. U Salomon/Blum/Jorgensen (Eds.), *MEDINFO-86*. Amsterdam: North-Holland, 228-231.
- 280 Trajković, M., et al. 1986. A Microcomputer Consultation System Supporting Medical Diagnosis. U *MECOMBE'86 Proc.*, Sevilla.
- 281 Springsteel, F.N. 1986. A Multilevel Expert System for Exploratory Data Analysis. U J.S. Kowalik (Ed.), *Coupling Symbolic and Numerical Computing in Expert Systems*. Elsevier.