

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**FILOZOFSKI FAKULTET U RIJECI**

**Odsjek za politehniku**

**Monia Bašić**

**Ekspertni sustavi**  
**(završni rad)**

**Rijeka, 2015. godine**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**FILOZOFSKI FAKULTET U RIJECI**

Studijski program: sveučilišni preddiplomski studij politehnike

Monia Bašić  
mat. broj: 0009064583

# **Ekspertni sustavi**

- završni rad -

**Mentor : mr. sc. Gordan Đurović**

**Rijeka, 2015. godine**

# FILOZOFSKI FAKULTET U RIJECI

## Odsjek za Politehniku

U Rijeci, 15. travanj 2015. godine

# ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnica: **Monia Bašić**

Studij: **Sveučilišni preddiplomski studij politehnike**

Naslov završnog rada: **Ekspertni sustavi**

Kratak opis zadatka: Opisati povijesni razvoj i osnovnu ideju ekspertnih sustava kao oblika umjetne inteligencije. Detaljno prikazati osnovne karakteristike ekspertnih sustava, njihove prednosti i nedostatke te metode zaključivanja koje se u njima koriste. Objasniti modeliranje vjerojatnosti i korištenje faktora pouzdanosti u ekspertnim sustavima. Na nizu jednostavnih ekspertnih sustava objasniti svaki pojedini prikazani dio rada, a na kraju izraditi ekspertni sustav koji će simulirati proces odlučivanja pri kupnji novog automobila.

Zadatak uručen pristupnici: **15. travnja 2015. godine**

Ovjera prihvatanja završnog rada od strane mentora: \_\_\_\_\_

Završni rad predan: \_\_\_\_\_

Datum obrane završnog rada: \_\_\_\_\_

Članovi ispitnog povjerenstva: 1. predsjednik - \_\_\_\_\_

2. mentor - \_\_\_\_\_

3. član - \_\_\_\_\_

Konačna ocjena: \_\_\_\_\_

Mentor

\_\_\_\_\_

mr. sc. Gordan Đurović

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam završni rad izradila samostalno, isključivo znanjem stečenim na Odsjeku za politehniku Filozofskoga fakulteta u Rijeci, služeći se navedenim izvorima podataka i uz stručno vodstvo mentora mr.sc. Gordana Đurovića.

U Rijeci, 28. srpnja 2015.

## SAŽETAK

Ovim radom se objašnjava pojam, svrha i osnovna ideja ekspertnih sustava kao oblika umjetne inteligencije. Detaljno se analizira svaki segment ekspertnih sustava koji su potrebni za njihov razvoj, izradu i uspješno korištenje. Predstavljaju se dvije metode zaključivanja (zaključivanje unaprijed i zaključivanje unatrag). Teorijski i matematički se definira pojam vjerojatnosti, združena i pogodbeno vjerojatnost. Daje se uvid u korištenje Bayesianovog rasuđivanja i faktora pouzdanosti. U svrhu jasnijeg prikaza analize navode se razni primjeri, a na kraju rada se izrađuje primjer ekspertnog sustava za kupnju novog automobila.

Ključne riječi: Ekspertni sustavi, umjetna inteligencija, metode zaključivanja, združena vjerojatnost, pogodbeno vjerojatnost, Bayesianovo rasuđivanje, faktori pouzdanosti

U Rijeci, 28. srpnja 2015

# SADRŽAJ

<b>1. Uvod</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Povijesni razvoj i osnovna ideja ekspertnih sustava kao oblika umjetne inteligencije.</b> ..	<b>2</b>
2.1 Razvoj ekspertnih sustava.....	<b>3</b>
2.2 Struktura ekspertnih sustava.....	4
<b>3. Osnovne karakteristike ekspertnih sustava</b> .....	<b>6</b>
3.1 Prednosti i nedostaci .....	<b>6</b>
3.2 Metode zaključivanja.....	<b>7</b>
3.2.1 Zaključivanje unaprijed.....	<b>7</b>
3.2.2 Zaključivanje unatrag .....	<b>8</b>
<b>4. Modeliranje vjerojatnosti i korištenje faktora pouzdanosti u ekspertnim sustavima</b> ....	<b>9</b>
4.1 Osnovna teorija vjerojatnosti .....	<b>11</b>
4.2 Bayesianovo rasuđivanje.....	<b>14</b>
4.3 Faktori pouzdanosti.....	<b>16</b>
4.3.1 Izračunavanje faktora pouzdanosti za vezivna pravila.....	<b>18</b>
4.3.2 Izračunavanje faktora pouzdanosti za rastavna pravila.....	<b>19</b>
4.3.3 Utjecaj više pravila na istu hipotezu.....	<b>19</b>
4.4. Usporedba faktora pouzdanosti i Bayesianovog rasuđivanja.....	<b>21</b>
<b>5. Primjer ekspertnog sustava za kupnju novog automobila</b> .....	<b>22</b>
<b>6. Zaključak</b> .....	<b>25</b>
<b>7. Literatura</b> .....	<b>26</b>

## **1. Uvod**

Tema ovog završnog rada su ekspertni sustavi u umjetnoj inteligenciji. Rad je podijeljen u sedam poglavlja. Prvo se govori o povijesnom razvoju i osnovnoj ideji ekspertnih sustava kao oblika umjetne inteligencije. Zatim se navode osnovne karakteristike ekspertnih sustava te njihove prednosti i nedostaci te metode zaključivanja koje se u njima koriste. Objašnjava se modeliranje vjerojatnosti i korištenje faktora pouzdanosti u ekspertnim sustavima.

Na nizu jednostavnih ekspertnih sustava objašnjen je svaki pojedini prikazani dio rada. Izrađen je ekspertni sustav koji simulira proces odlučivanja pri kupnji novog automobila te je na kraju dan zaključak.

## 2. Povijesni razvoj i osnovna ideja

1970-ih je prihvaćeno da za stvaranje stroja koji rješava intelektualne probleme netko mora znati rješenje problema. Drugim riječima, netko treba imati znanje o nekom određenom području. Eksperti su ljudi koji posjeduju to znanje i većina njih je u stanju svoje znanje predočiti kao niz pravila koja vode do rješenja određenih problema.

Na primjer zamislite da ste sreli svemirca koji želi prijeći cestu - bavite se ovim poslom više godina te ste u stanju naučiti svemirca. Što bi napravili?

Morate naučiti svemirca da može sigurno prijeći cestu kada je svijetlo na semaforu zeleno, a da mora stati kada je svijetlo crveno. To su osnovna pravila. Vaše znanje može biti formirano u obliku sljedećih jednostavnih pravila:

IF → je svijetlo na semaforu zeleno

THEN → radnja je idi

IF → svijetlo na semaforu je crveno

THEN → radnja je stani

Izjave koje su korištene u IF-THEN formi su pravila kako riješiti neki problem, lako ih je stvoriti i razumjeti. Svako pravilo se sastoji od dva dijela: prvi dio je IF prethodnik (pretpostavka ili uvjet) i THEN dio (posljedica ili zaključak). Općenito pravilo može imati više pretpostavki koje su spojene znakom AND (zajedno), ili OR (razdvajanje) ili njihovom kombinacijom.

Nakon što je znanje oblikovao stručnjak potrebno ga je unijeti u računalo. Cilj je da računalo misli i radi kao inteligentni asistent u nekom određenom području te da riješi problem umjesto stručnjaka ili pomogne u njegovom rješavanju. Računalo bi trebalo i prikazivati svoja znanja u formi koja je korisniku jednostavna za korištenje i shvaćanje, što je jedna od osnovnih prednosti ekspertnih sustava.

Začetnici ekspertnih sustava su stručnjaci sa fakulteta Stanforda u SAD-u, a među njima je bio i Edward Feingebaum, koji se naziva „ocem ekspertnih sustava“ sa Mycin sustavom.

Mycin sustav je primjer ekspertnog sustava koji služi za dijagnosticiranje bakterijskih infekcija i sadrži preko petsto pravila. Kao ulazne podatke korisnik unosi informacije o

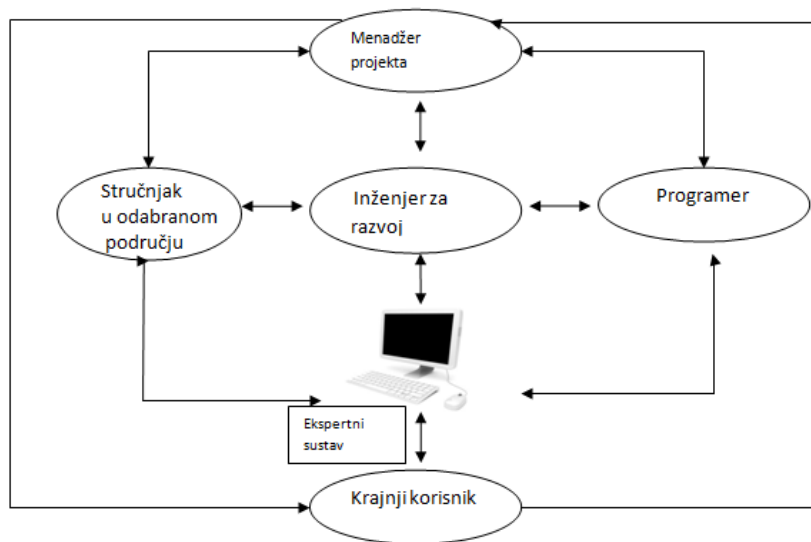


medicinskim simptomima da bi zatim iz baze podataka o simptomima i fiziološkim činjenicama ekspertni sustav predložio prikladno medicinsko liječenje.

Ekspertni sustavi se primjenjuju i u područjima poslovanja, inženjerstva, medicine, geologije i u svim srodnim područjima.

## 2.1 Razvoj ekspertnih sustava

Za razvoj ekspertnih sustava potrebno je pet članova: stručnjak u promatranom području, inženjer za razvoj, programer, menadžer projekta i krajnji korisnik (povezani na način prikazan na slici 2.1.).



Slika 2.1. Povezanost članova za razvoj ekspertnih sustava.

Uspjeh pojedinog ekspertnog sustava znatno će ovisiti o tome kako će članovi funkcionirati kao tim. Stručnjak u promatranom području mora biti vješta osoba koja mora imati iskustvo i znati kako riješiti specifične probleme rješavanje kojih bi trebao preuzeti izgrađeni ekspertni sustav. On mora biti komunikativna osoba koja svoje znanje zna prenositi na druge članove tima, mora biti predana osoba kojoj nije teško predati se projektu i izdvojiti dosta vremena u njegov razvoj zbog toga je stručnjak u promatranom području najbitniji član tima.

Inženjer za razvoj je osoba koja je u stanju dizajnirati, izraditi i testirati ekspertni sustav. Odgovoran je za odabir pravog zadatka ekspertnog sustava te pravog rješenja za određeni

problem. Mora biti predan projektu od početka do kraja, pa čak i kad je sustav do kraja izrađen on ga mora održavati.

Programer prevodi znanje u jezik koji će računalo shvaćati. On mora biti vješt u programiranju različitih programskih jezika kao što su C, C++, Pascal i slično.

Menadžer projekta je vođa razvojnog tima te je odgovoran za nastavak rada projekta te surađuje sa svim članovima tima.

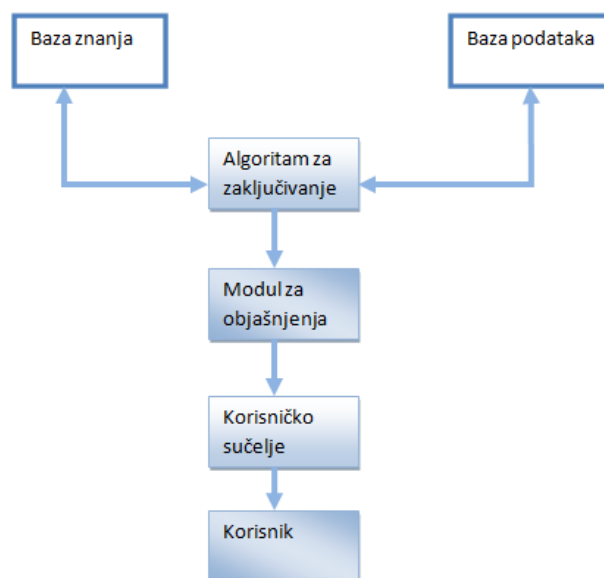
Krajnji korisnik je osoba koja koristi ekspertni sustav kada je on razvijen. Svaki korisnik ima drugačije potrebe zato mu se ekspertni sustav mora prilagoditi kako bi stekao povjerenje u njega te ga tako nastavio koristiti.

Razvoj sustava može započeti kada svih pet članova postanu tim. Za male sustave sav posao može obaviti i samo jedna osoba.

## 2.2 Struktura ekspertnih sustava

Izgradnja ekspertnih sustava zasnovana je na ideji da ljudi rješavaju svoje probleme koristeći svoje znanje te ga povezuju uzročno-posljedičnim vezama. Kod ekspertnih sustava pravila koja odgovaraju uzročno-posljedičnim vezama su smještena u dugotrajnoj memoriji dok su specifične informacije koje predstavljaju znanje smještene u kratkotrajnoj.

Ekspertni se sustav se sastoji od pet elemenata: baze znanja, baze podataka, algoritma za zaključivanje, modul za objašnjenja te korisničkog sučelja.



Slika 2.2. Elementi ekspertnog sustava.

Baza znanja sadrži znanja o području koje je korisno za rješavanje problema. Znanje je prikazano kao niz pravila, a svako pravilo prikazuje vezu, preporuku, strategiju ili direktivu u IF ili THEN strukturi.

Baza podataka sadrži niz činjenica koje se koriste za usporedbu sa IF dijelovima pravila koji su smješteni u bazi znanja. U ovu bazu korisnik unosi poznate informacije koje ekspertni sustav koristi pri traženju rješenja problema.

Algoritam za zaključivanje povezuje bazu znanja i bazu podataka te daje konačno rješenje problema. Upravo je algoritam za zaključivanje centralni dio svakog ekspertnog sustava te predstavlja pokušaj kopiranja znanja ljudskog eksperta u samostalni algoritam.

Modul za objašnjenja omogućuje da korisnik upita sustav kako je došlo do određenog zaključka i zašto je potrebna određena činjenica. Ovaj modul može pomoći korisniku da dobiveno rješenje potvrdi ili ga doradi prateći logiku koju je ekspertni sustav koristio prilikom svojega rada.

Korisničko sučelje je veza za komunikaciju između korisnika koji traži rješenje i ekspertnog sustava koji ga daje. Komunikacija bi trebala biti što lakša i jednostavnija.

### **3. Osnovne karakteristike ekspertnih sustava**

Najvažnija karakteristika svakog ekspertnog sustava je visoko-kvalitetni rad i pouzdanost dobivenog rješenja. Bez obzira koliko brzo neki sustav rješava problem korisnik neće biti zadovoljan ako je to rješenje krivo. S druge strane brzina je ipak bitna, jer ako se radi o nekom problemu koji se treba brzo riješiti (na primjer dijagnoza za pacijenta u kritičnom stanju - bolje je da sustav da polovično rješenje te da se pacijent spasi nego da čekamo dugo najprecizniju dijagnozu, a pacijent u među vremenu premine).

Eksperti koriste svoje iskustvo i razumijevanje problema kako bi pronašli kratice koje dovode do točnog odgovora, te bi na taj način trebali raditi i ekspertni sustavi. Specifičnost svih ekspertnih sustava je njihova vještina objašnjavanja. Na taj način sustav može sam propitati razloge kako je došao do rješenja i objasniti svoju odluku. Oni koriste simboličko rasuđivanje pri traženju rješenja. Simboli predstavljaju različite vrste znanja kao što su činjenice, pravila i pojmovi. Na temelju dobivenih objašnjenja moguće je ažurirati znanja u bazi ekspertnog sustava te na taj način poboljšati rad sustava.

#### **3.1 Prednosti i nedostaci**

Osnovne prednosti ekspertnih sustava su:

##### **1. Rad s nepotpunim podacima**

Većina ekspertnih sustava je u stanju raditi i rasuđivati sa nepotpunim i nepoznatim podacima.

##### **2. Znanje odvojeno od procesa zaključivanja**

Struktura ekspertnih sustava pruža djelotvorno odvajanje baze znanja i algoritma za zaključivanje. To omogućuje stvaranje različitih aplikacija koristeći se istim strukturama i ekspanziju ekspertnih sustava.

##### **3. Shvatljiv prikaz znanja**

Stručnjak objašnjava proceduru rješavanja problema pomoću izraza kao "u takvim i takvim situacijama radim tako i tako", takvi izrazi se mogu sa lakoćom prikazati putem IF-THEN pravilima.

#### 4. Jasna struktura

Pravila imaju zadanu IF-THEN strukturu u kojoj je svako pravilo dio znanja. Sintaksa pravila dozvoljava da se svako pravilo sprema samostalno.

Osnovni nedostaci ekspertnih sustava su:

##### 1. Nemogućnost učenja

Ekspertni sustavi nemaju mogućnost učenja iz iskustva kao što to imaju stručnjaci. Sustav ne može sam modificirati bazu znanja, dodati novo pravilo ili izmijeniti staro te je za takve izmjene još uvijek potrebna ljudska intervencija.

##### 2. Nerazumljiv odnos između pravila

Iako je skoro svako pravilo samo za sebe jednostavno, kombinacija više pravila zna biti dosta nerazumljiva i složena. Taj problem je vezan za manjak hijerarhijskoga znanja u ekspertnim sustavima.

##### 3. Neefektivna strategija pretraživanja

Algoritam za zaključivanje svaki put pretražuje sva pravila u ekspertnom sustavu. Ekspertni sustavi koji imaju jako puno pravila (preko 100) znaju biti spori te zbog toga i neefikasni.

### 3.2 Metode zaključivanja

Pri svojem radu ekspertni sustavi koriste dva različita pristupa prilikom provođenja zaključivanja i dobivanja konačnog rješenja: zaključivanje unaprijed i zaključivanje unatrag.

#### 3.2.1. Zaključivanje unaprijed

Ovaj pristup provođenju zaključivanja vođen je poznatim podacima o problemu koji se rješava. Rasuđivanje počinje od poznatih činjenica i nastavlja dalje prema rješenju. Svaki put se izvršava najbitnije pravilo. Kada se to pravilo izvrši dodaje se nova činjenica u bazu podataka, svako pravilo se izvršava samo jednom a proces se nastavlja sve dok nema više pravila za izvršavanje. To je tehnika u kojoj se prikupljaju podaci te se zaključuje sve što se može zaključiti. No, kod ove metode se mogu izvršavati i pravila koja nemaju nikakve veze sa dolaskom do potrebnog rješenja što dovodi do neefikasnog i neoptimalnog rada sustava koji troši vrijeme na obradu pravila koja nije bilo potrebno koristiti.

### 3.2.2. Zaključivanje unatrag

Kod ove metode zaključivanja polazi se od hipotetskog rješenja te algoritam za zaključivanje pokušava pronaći dokaze kako bi se to rješenje potvrdilo. Prvo se pretražuje baza znanja kako bi se pronašla pravila koja bi dovela do željenog rješenja. Svako pravilo mora imati cilj u THEN dijelu, a ako je takvo pravilo pronađeno te ako se njegov IF dio slaže sa podacima u bazi podataka tada se takvo pravilo izvršava te je cilj dokazan.

No, to je rijetko tako. Algoritam za zaključivanje stavlja sa strane pravila s kojima radi te postavlja novi cilj (privremeni cilj) kako bi dokazao IF dio pravila. Zatim se opet pretražuje baza znanja kao bi se pronašla pravila koja dokazuju privremeni cilj. Algoritam za zaključivanje ponavlja proces sve dok ne pronađe pravila u bazi znanja koja dokazuju sve privremene ciljeve.

Kako bi se moglo odlučiti koju metodu koristiti treba proučavati kako ljudski stručnjak rješava problem. Ako stručnjak mora prvo skupiti informacije te zatim iz njih zaključuje sve što može tada treba koristiti metodu zaključivanja unaprijed, a ukoliko stručnjak započinje sa hipotetičkim rješenjem problema te tada činjenicama pokušava dokazati rješenje tada treba koristiti metodu unatrag. DENDRAL (ekspertni sustav za određivanje molekularne strukture) koristi metodu zaključivanja unaprijed. S druge strane, za dijagnostičke svrhe se najčešće koristi metoda zaključivanja unatrag (MYCIN).

Ekspertni sustavi mogu koristiti i kombinaciju prethodno navedenih metoda ukoliko su na taj način konfigurirani te problemi koje rješavaju mogu biti bolje obuhvaćeni na taj način.

## **4. Modeliranje vjerojatnosti i korištenje faktora pouzdanosti u ekspertnim sustavima**

Zajednička karakteristika svih informacija koje su dostupne ljudskim ekspertima je njihova nepouzdanost. Naime, informacije mogu biti nedovršene, neistinite, nedosljedne te zbog toga nekada ne mogu dovesti do rješenja problema, ali dobar stručnjak bi trebao usprkos tim nedostacima doći do pouzdanog i dobrog rješenja. Kod ekspertnih sustava do nepouzdanosti informacija dolazi zbog manjka pravog znanja koje bi omogućilo korisnicima da dođu do najpouzdanijih zaključaka. Do takvih zaključaka vodi klasična logika, ona pretpostavlja da se osnovna pravila uvijek mogu primjenjivati:

IF A je istina THEN A nije laž

odnosno

IF B je laž THEN B nije istina

Nažalost većina stvarnih problema u kojima se mogu koristiti ekspertni sustavi ne omogućava posjedovanje takvih profiliranih znanja. Dostupne informacije često sadrže netočne, nedovršene i nemjerljive podatke. Izvori nepouzdanih informacija (znanja) u ekspertnim sustavima su:

1. Ljudski eksperti i inženjeri za razvoj imaju težak zadatak uspostavljanja konkretnih veza između IF (uvjeta) i THEN (posljedica) pravila. Zbog toga ekspertni sustavi moraju biti u stanju rješavati nejasne asocijacije.
2. Neprecizan jezik - naš materinjski jezik je neprecizan i dvosmislen. Mi opisujemo činjenice sa pojmovima kao što su često, ponekad, rijetko te zbog toga zna biti teško izraziti znanje u IF-THEN pravilima. No usprkos tome ukoliko je značenje činjenice mjerljivo onda se takva činjenica može koristiti u ekspertnim sustavima. Iz tog razloga je Ray Simpson anketirao 355 srednjih škola i studenata, njihov zadatak je bio da smjeste 20 pojmova kao što je često, na skalu od 1 do 100 po svom mišljenju. 1968 godine isti eksperiment je proveo Milton Hakel njihovi rezultati su prikazani u tablici 1. Anketiranje im je omogućilo da ekspertnim sustavima opišu značenje, to jest vrijednost pojedine činjenice.

Tablica 1. - prikaz rezultata dodjeljivanja vrijednosti odgovarajućim pojmovima

Pojam	Srednja vrijednost Ray Simpsons (1944.)	Srednja vrijednost Milton Hakel (1968)
Stalno	99	100
Jako često	88	87
Obično	85	79
Često	78	74
U većini slučajeva	78	74
Učestalo	73	72
Manje često	65	72
Toliko često koliko i ne	50	50
Kad-tad	20	34
Nekada	20	29
Povremeno	20	28
Ponekada	15	22
Ne često	13	16
Obično ne	10	16
Rijetko	10	9
Gotovo nikada	7	8
Jako rijetko	6	7
Skoro nikada	3	2
Nikada	0	0

3. Nepoznati podaci - kada ekspertni sustav ne zna odgovor ili njegova baza znanja nema potrebne podatke koje korisnik traži tada je jedino rješenje da ekspertni sustav prihvati vrijednost nepoznato.
4. Kombiniranje vizija različitih eksperta – veliki ekspertni sustav najčešće kombiniraju znanja i iskustva većeg broja ljudskih eksperta. Na primjer, devet eksperta je sudjelovalo u razvoju sustava PROSPECTOR, ekspertnog sustava za mineralna istraživanja. Nažalost, stručnjaci rijetko kada imaju identične metode dolaska do rješenja problema te se između njih stvaraju konflikti jer se ne slažu u različitim činjenicama. Kako bi se riješio konflikata inženjer mora ocijeniti pojedinog stručnjaka te potom procijeniti racionalno rješenje, no to je dosta teško te zbog toga nijedan ekspertni sustav nije u potpunosti točan.

Prema tome, ekspertni sustav bi trebao biti u stanju upravljati nepouzdanim podacima zato što se u realnom svijetu u svakoj domeni nalaze nepouzidane činjenice i znanja. Veliki



broj numeričkih i ne numeričkih metoda se razvilo kako bi se upravljalo nepouzdanošću i nepreciznošću kod ekspertnih sustava, a jedan od njih je Bayesianovo rasuđivanje.

#### 4.1 Osnove teorije vjerojatnosti

Osnovna teorija vjerojatnosti ima važnu ulogu u našim životima. Pokušavamo prognozirati kolika je vjerojatnost kiše ili koliko je vjerojatnost da će Hrvatska nogometna momčad pobijediti druge godine na Europskom prvenstvu u nogometu.

Ideja o vjerojatnosti ima dugačku prošlost koja se vraća tisuće godina u prošlost kada su riječi poput 'vjerojatno', 'moguće', 'možda' predstavljene u svakodnevni govor, a matematička teorija vjerojatnosti stvorena je u 17 stoljeću.

##### Definicija vjerojatnosti

Vjerojatnost nekog događaja je razmjer slučajeva u kojima se događaj pojavio. Može se definirati i kao znanstvena veličina prilike. Matematički je to numerički indeks rangiran između nule (apsolutna nemogućnost/nevjerojatnost) i jedinice (apsolutna mogućnost/vjerojatnost), što znači da svaki događaj ima dva moguća ishoda; uspjeh ili neuspjeh.

Vjerojatnost uspjeha i neuspjeha definira se sljedećim formulama:

$$P(\text{uspjeh}) = \frac{\text{broj uspjeha}}{\text{broj mogućih ishoda}}$$

$$P(\text{neuspjeh}) = \frac{\text{broj neuspjeha}}{\text{broj mogućih ishoda}}$$

Ako definiramo da  $s$  označava broj puta koliko se neki događaj može dogoditi, a  $f$  broj puta koliko može doći do neuspjeha tada prethodne formule možemo zapisati na sljedeći način:

$$P(\text{uspjeh}) = p = \frac{s}{s + f}$$

$$P(\text{neuspjeh}) = q = \frac{f}{s + f}$$

uz uvjet da je

$$p + q = 1$$

Na primjer, promatramo bacanje kockice, to jest vjerojatnost da ćemo dobiti broj šest  $s$  jednim bacanjem kockice. Ako zadamo da je 6 jedini uspjeh, tada je  $s = 1$  i  $f = 5$ , zato što se samo jednom može dogoditi da bacimo šest i pet puta se može dogoditi da ne dobijemo šesticu iz jednog bacanja. Vjerojatnost da ćemo baciti šesticu je:

$$p = \frac{1}{1 + 5} = 0.1666$$

dok je vjerojatnost da nećemo baciti šesticu:

$$q = \frac{5}{1 + 5} = 0.8333$$

Do sada sam razmotrila događaje koji su samostalni i koji su međusobno isključeni to jest ne mogu se događati simultano. Kod bacanja kockice ne možemo istovremeno dobiti jedinicu i šesticu. Razmotrimo sada situaciju u kojoj bacamo kockicu ali znamo da je jedinica uklonjena i da nju ne možemo dobiti, opet imamo pet mogućnosti da ne bacimo šesticu no jednu možemo maknuti i tada formula glasi:

$$p = \frac{1}{1 + (5 - 1)}$$

Uzmimo neki događaj  $A$  kao događaj u svijetu a  $B$  kao neki bilo koji drugi događaj i pretpostavimo da se događaji  $A$  i  $B$  dešavaju simultano to jest jedan vodi drugom. Tada se vjerojatnost da će se događaj  $A$  dogoditi ako se dogodi događaj  $B$  naziva pogodbeni vjerojatnost. Tako  $p(A \cap B)$  predstavlja broj pojavljivanja događaja  $A$  i  $B$  i naziva se združena vjerojatnost.

$$p(A|B) = \frac{\text{koliko puta su se dogodili } A \text{ i } B}{\text{koliko puta se } B \text{ dogodio}} = \frac{p(A \cap B)}{p(B)}$$

Pogodbeni vjerojatnost da će se događaj B dogoditi ako se događaj A dogodio:

$$p(B|A) = \frac{p(B \cap A)}{p(A)}$$

Iz te dvije formule slijedi Bayesianovo pravilo:

$$p(A|B) = \frac{p(B|A) \times p(A)}{p(B)}$$

pri čemu je:

$p(A|B)$  - pogodbeni vjerojatnost da će se događaj A dogoditi ako se događaj B dogodio

$p(B|A)$  - pogodbeni vjerojatnost da će se događaj B dogoditi ako se događaj A dogodio

$p(A)$  – vjerojatnost da će se dogoditi događaj A

$p(B)$  – vjerojatnost da će se dogoditi događaj B

Pravilo je dobilo ime po britanskom znanstveniku Thomasu Bayesu koji je u 18. stoljeću predstavio ovo pravilo. Koncept pogodbene vjerojatnosti se zasniva na tome da je događaj A zavisio od događaja B, a može se primijeniti i da događaj A ovisi o više događaja  $B_1, B_2, \dots, B_n$ :

$$\sum_{i=1}^n p(A \cap B_i) = \sum_{i=1}^n p(A|B_i) \times p(B_i)$$

Ako pojavljivanje događaja B ovisi o dva događaja- A ili nije A tada formula glasi:

$$p(A|B) = \frac{p(B|A) \times p(A)}{p(B|A) \times p(A) + p(B|\neg A) \times p(\neg A)} \rightarrow A \text{ logička funkcija NOT ili NE}$$

Ova formula omogućuje izračunavanje vjerojatnosti kod ekspertnih sustava.

## 4.2 Bayesianovo rasuđivanje

Pretpostavimo da se svako pravilo kod ekspertnih sustava definira na sljedeći način:

IF E je istina THEN H je istina (sa vjerojatnošću p)

Ovo pravilo znači da ako se dogodio događaj E tada je vjerojatnost da će se dogoditi događaj H izražena s vjerojatnošću p. Ukoliko želimo izračunati koja je vjerojatnost da se događaj H dogodio u prethodnu formulu uvrstimo sve podatke a umjesto A i B koristimo E i H.

$$p(H|E) = \frac{p(E|H) \times p(H)}{p(E|H) \times p(H) + p(E|\neg H) \times p(\neg H)}$$

pri čemu je:

$p(H)$  – vjerojatnost da je hipoteza H istinita

$p(E|H)$  - vjerojatnost da će se pronaći dokaz E ako je hipoteza H istinita

$p(\neg H)$  – vjerojatnost da je hipoteza H laž

$p(E|\neg H)$ - vjerojatnost pronalaska dokaza E i onda ako je hipoteza H laž

Vjerojatnost hipoteze H,  $p(H)$  mora biti definirana prije nego se bilo koji dokaz izvede. Kod ekspertnih sustava, vjerojatnost koja je potrebna da se riješi neki problem određuju stručnjaci. Oni određuju vjerojatnosti moguće hipoteze  $p(H)$  i  $p(\neg H)$ , te pogodbenu vjerojatnost da će se ostvariti hipoteza E ako je hipoteza H istinita ili ako je neistinita. Korisnici osiguravaju informacije o promatranim dokazima i ekspertni sustav izračunava  $p(H|E)$  za hipotezu H prema podacima koje je promatrao korisnik. Vjerojatnost  $p(H|E)$  se naziva pogodbenom vjerojatnost hipoteze H promatranjem dokaza E.

Ako stručnjak izračunava vjerojatnost na temelju više hipoteza  $H_1, H_2 \dots H_n$  i više dokaza  $E_1, E_2 \dots E_n$ . tada se koristi formula:

$$p(H_i | E_1 E_2 \dots E_n) = \frac{p(E_1 | H_i) \times p(E_2 | H_i) \times \dots \times p(E_n | H_i) \times p(H_i)}{\sum_{k=1}^m p(E_1 | H_k) \times p(E_2 | H_k) \times \dots \times p(E_n | H_k) \times p(H_k)}$$

**Primjer:**

Stručnjak je postavio tri dokaza  $E_1$ ,  $E_2$  i  $E_3$  i tri međusobno isključene hipoteze  $H_1$ ,  $H_2$  i  $H_3$ , postavio je i prijašnju i pogodbenu vjerojatnost hipoteza. Prvo gledamo dokaz  $E_3$  te prema njemu zaključujemo vjerojatnost za sve tri hipoteze:

$$p(E_3|H_i) = \frac{p(E_3|H_i) \times p(H_i)}{\sum_{k=1}^3 p(E_3|H_k) \times p(H_k)} \quad i = 1,2,3$$

$$p(H_1|E_3) = \frac{0.6 \times 0.40}{0.6 \times 0.40 + 0.7 \times 0.35 + 0.9 \times 0.25} = 0.34$$

$$p(H_2|E_3) = \frac{0.7 \times 0.35}{0.6 \times 0.40 + 0.7 \times 0.35 + 0.9 \times 0.25} = 0.34$$

Vjerojatnost	i=1	i=2	I=3
$p(H_i)$	0.40	0.35	0.25
$P(E_1H_i)$	0.3	0.8	0.5
$P(E_2H_i)$	0.9	0.0	0.7
$P(E_3H_i)$	0.6	0.7	0.9

$$p(H_3|E_3) = \frac{0.9 \times 0.25}{0.6 \times 0.40 + 0.7 \times 0.35 + 0.9 \times 0.25} = 0.32$$

Nakon promatranja dokaza  $E_3$ , vjerojatnost hipoteze  $H_2$  se povećava te postaje ista kao i hipoteza  $H_1$ , a hipoteza  $H_3$  također raste. Promatrajmo sada dokaz  $E_1$ .

$$p(H_i|E_1, E_2 \dots E_n) = \frac{p(E_1|H_i) \times p(E_3|H_i) \times p(H_i)}{\sum_{k=1}^3 p(E_1|H_k) \times p(E_3|H_k) \times p(H_k)} \quad i = 1,2,3$$

$$p(H_1|E_1E_3) = \frac{0.3 \times 0.6 \times 0.40}{0.3 \times 0.6 \times 0.40 + 0.8 \times 0.7 \times 0.35 + 0.5 \times 0.9 \times 0.25} = 0.19$$

$$p(H_2|E_1E_3) = \frac{0.8 \times 0.7 \times 0.35}{0.3 \times 0.6 \times 0.40 + 0.8 \times 0.7 \times 0.35 + 0.5 \times 0.9 \times 0.25} = 0.52$$

$$p(H_3|E_1E_3) = \frac{0.5 \times 0.9 \times 0.25}{0.3 \times 0.6 \times 0.40 + 0.8 \times 0.7 \times 0.35 + 0.5 \times 0.9 \times 0.25} = 0.29$$

Promatranjem dokaza  $E_1$  očigledno je da je hipoteza  $H_2$  najvjerojatnije rješenje. Nakon promatranja i dokaza  $E_2$  dobijemo sljedeća rješenja:

$$p(H_i|E_1E_2E_3) = \frac{p(E_1|H_i) \times p(E_2|H_i) \times p(E_3|H_i) \times p(H_i)}{\sum_{k=1}^3 p(E_1|H_k) \times p(E_2|H_k) \times p(E_3|H_k) \times p(H_k)} \quad i = 1,2,3$$

$$p(H_1|E_1E_2E_3) = \frac{0.3 \times 0.9 \times 0.6 \times 0.40}{0.3 \times 0.9 \times 0.6 \times 0.40 + 0.8 \times 0.0 \times 0.7 \times 0.35 + 0.5 \times 0.7 \times 0.9 \times 0.25} = 0.45$$

$$p(H_2|E_1E_2E_3) = \frac{0.8 \times 0.0 \times 0.7 \times 0.35}{0.3 \times 0.9 \times 0.6 \times 0.40 + 0.8 \times 0.0 \times 0.7 \times 0.35 + 0.5 \times 0.7 \times 0.9 \times 0.25} = 0$$

$$p(H_3|E_1E_2E_3) = \frac{0.5 \times 0.7 \times 0.9 \times 0.25}{0.3 \times 0.9 \times 0.6 \times 0.40 + 0.8 \times 0.0 \times 0.7 \times 0.35 + 0.5 \times 0.7 \times 0.9 \times 0.25} = 0.55$$

Iako se na početku činilo da će redosljed hipoteza biti  $H_1$ ,  $H_2$  i  $H_3$ , samo hipoteze  $H_1$  i  $H_3$  ostaju kao moguće rješenje nakon promatranja sva tri dokaza. Hipoteza  $H_3$  se daje kao konačno rješenje sa najvećim predviđanjem. Ekspertni sustav za istraživanje minerala, PROSPECOTOR, je bio prvi sustav koji je koristio Bayesianova pravila za određivanje vjerojatnosti kroz sustav.

#### 4.3 Faktori pouzdanosti

Faktori pouzdanosti su alternativa Bayesianovom rasuđivanju. Princip ove teorije predstavljen je u MYCIN sustavu. Kako nisu mogli koristiti klasično izračunavanje vjerojatnosti zato što nisu imali dovoljno podataka, te su umjesto toga odlučili predstaviti faktore pouzdanosti (cf), broj koji predstavlja stručnjakovo uvjerenje.

Maksimalna vrijednost faktora pouzdanosti je + 1.0 (apsolutno da) a minimalna -1.0 (definitivno ne). Pozitivna vrijednost predstavlja stupanj vjerovanja, a negativna stupanj nevjerovanja. Na primjer, ako je stručnjak smatrao da je neki dokaz skoro pa točan tada je cf vrijednost bila +0.8. Tablica 2 pokazuje vrijednost pojedine izjave.

Tablica 2. Vrijednosti faktora pouzdanosti u ekspertnim sustavima.

Definicija	vrijednost CFa
sigurno ne	- 1,0
gotovo sigurno ne	- 0,8
vjerojatno ne	- 0,6
možda ne	- 0,4
Nepoznato	- 0,2 do + 0,2
Možda	+ 0,4
Vjerojatno	+ 0,6
gotovo sigurno	+ 0,8
Sigurno	+ 1,0

Kod ekspertnih sustava sa faktorima pouzdanosti baza znanja sadrži niz pravila koji imaju sljedeću sintaksu:

If <dokaz> THEN <hipoteza> {cf}

pri čemu cf predstavlja vjerovanje u hipotezu danu uz određeni dokaz. Ova teorija je bazirana na dvije funkcije: mjeru vjerovanja MB(H,E) i mjeru nevjerovanja MD(H,E).

Mjera vjerovanja

$$MB(H, E) = \left\{ \frac{\max[p(H|E), p(H)] - p(H)}{\max[1,0] - p(H)} \right\} \text{ ako je } p(H) = 1$$

Mjera nevjerovanja

$$MD(H, E) = \left\{ \frac{\min[p(H|E), p(H)] - p(H)}{\min[1,0] - p(H)} \right\} \text{ ako je } p(H) = 0$$

Vrijednosti MB(H,E) i MD(H,E) su između 0 i 1. Razina vjerovanja i nevjerovanja u hipotezu H ovisi o promatranom dokazu E. Neke činjenice mogu povećati razinu vjerovanja ili nevjerovanja. Ukupnu razinu vjerovanja i nevjerovanja izračunavamo tako što objedinimo prethodne dvije formule:

$$cf = \frac{MB(H, E) - MD(H, E)}{1 - \min[MB(H, E), MD(H, E)]}$$

Često stručnjak nije baš apsolutno siguran da je zadano pravilo istinito. U nekim slučajevima čak kad je i uvjet zadovoljen i kada objekt A prima vrijednost X, se može dogoditi da objekt B primi neku drugu vrijednost Z. Tada stručnjak zadaje faktore pouzdanosti:

IF A je X THEN B je Y {cf 0.7} AND B je Z {cf 0.2}

Dakle, objekt A prima vrijednost X, B će 70 posto biti Y a 20 posto vjerojatnosti da će biti Z. Preostalih 10 posto može biti bilo što. Stručnjak tako osigurava mogućnost da objekt B može preuzeti i neku drugu vrijednost.

### Primjer 2:

IF nebo je vedro  
THEN prognoza je sunčano {cf 0.8}

Ako je vjerojatnost da će biti sunčano 0.5, uz zadani faktor pouzdanosti 0.8 proizlazi da je ukupna vjerojatnost:

$$cf(H,E)=cf(E) \times cf = 0.5 \times 0.8 = 0.4 \rightarrow \text{što znači da će možda biti sunčano}$$

#### 4.3.1. Izračunavanje faktora pouzdanosti za vezivna pravila:

IF <dokaz  $E_1$ > AND <dokaz  $E_2$ > AND ... IF <dokaz  $E_n$ >  
THEN <hipoteza H > {cf}

Vjerojatnost hipoteze H:

$$cf(H, E_1 \cap E_2 \cap \dots \cap E_n) = \min [cf(E_1), cf(E_2), \dots, cf(E_n)] \times cf$$

Na primjer:

IF nebo je vedro  
AND prognoza je sunčano  
THEN radnja je "nosi naočale" {cf 0.8}

Ako je vjerojatnost da je nebo vedro 0.9, da je prognoza sunčano 0.7 tada je:

$$cf(H,E_1 \cap E_2) = \min [0.9, 0.7] \times 0.8 = 0.56$$

Prema tablici 2. Zaključujemo da je vjerojatno dobra ideja nositi naočale danas.



### 4.3.2. Izračunavanje faktora pouzdanosti za rastavna pravila:

IF <dokaz  $E_1$ > OR <dokaz  $E_2$ > OR ... OR <dokaz  $E_n$ >  
THEN <hipoteza H > {cf}

Vjerojatnost hipoteze H:

$$cf(H, E_1 \cup E_2 \cup \dots \cup E_n) = \max [cf(E_1), cf(E_2), \dots, cf(E_n)] \times cf$$

Na primjer:

IF nebo je oblačno  
OR prognoza je kiša  
THEN radnja je "uzmi kišobran" {cf=0.9}

Ako je vjerojatnost da je nebo oblačno 0.6, da je prognoza kiša 0.8 tada je:

$$cf(H, E_1 \cup E_2) = \max [0.6, 0.8] \times 0.9 = 0.8 \times 0.9 = 0.72,$$

što se može zaključiti da gotovo sigurno treba ponijeti kišobran danas.

### 4.3.3. Utjecaj više pravila na istu hipotezu

U nekim slučajevima dva ili više pravila mogu utjecati na istu hipotezu tada se faktor pouzdanosti izračunava prema sljedećoj formuli:

$$Cf\{cf_1, cf_2\} = \begin{cases} cf_1 + cf_2 \times (1 - cf_1) & \text{ako je } cf_1 > 0 \text{ i } cf_2 > 0 \\ \frac{cf_1 + cf_2}{1 - \min[|cf_1|, |cf_2|]} & \text{ako je } cf_1 < 0 \text{ ili } cf_2 < 0 \\ cf_1 + cf_2 \times (1 + cf_1) & \text{ako je } cf_1 < 0 \text{ i } cf_2 < 0 \end{cases}$$

pri čemu je:

$Cf_1$  je vjerovanje u hipotezu H prema pravilu 1;

$Cf_2$  je vjerovanje u hipotezu H prema pravilu 2;

$|cf_1|$  i  $|cf_2|$  su apsolutne veličine  $cf_1$  i  $cf_2$

Primjer korištenja faktora pouzdanosti:

Pravilo 1

IF danas je kiša { cf=1.0}  $cf=1.0 \times 0.5 = 0.5$

THEN sutra će biti kiša {cf 0.5}

Pravilo 2

IF danas je suho {cf=1.0}  $cf=1.0 \times 0.5 = 0.5$

THEN sutra će biti suho {cf 0.5}

Pravilo 3

IF danas je kiša {cf=1.0}  $cf=\min[1,0.8] \times 0.6 = 0.48$

AND malo je oborina {cf=0.8}

THEN sutra će biti suho {cf 0.6}

Pravilo 4

IF danas je kiša {cf=1.0}  $cf=\min[1,0.8,0.9] \times 0.7 = 0.56$

AND malo je oborina {cf=0.8}

AND hladno je {cf=0.9}

THEN sutra će biti suho {cf 0.7}

Pravilo 5

IF danas je suho {cf=1.0}  $cf=\min[1,0.9] \times 0.65=0.5$

AND toplo je {cf=0.9}

THEN sutra će biti kiša {cf 0.65}

$$\begin{aligned} Cf(cfpravilo3, cfpravilo4) &= cfpravilo3 + cfpravilo4 \times (1-cfpravilo3) = \\ &= 0.48+0.56 \times (1-0.48) = 0.77 \end{aligned}$$

Sutra će biti suho {0.77}

Sutra će biti kiša {0.50}

Možemo zaključiti da će vjerojatno biti suh dan sutra, ali ipak možemo očekivati nešto kiše.

#### **4.4. Usporedba faktora pouzdanosti i Bayesianovog rasuđivanja**

Teorija vjerojatnosti je najstarija i najstabilnija tehnika za rad sa netočnim znanjem i svakakvim podacima. Korisna je u vremenskim prognozama i kod raznih planiranja u kojima su statistički podaci dostupni, te se mogu izračunati potrebne vjerojatnosti.

PROSPECTOR je koristio Bayesianovo rasuđivanje, pomoću geoloških i geokemijskih podataka je dokazao postojanje molibdena u blizini planine Tolman u Washingtonu. Njegov tim se mogao pouzdati samo u točne podatke o mineralnim depozitima i statističkim informacijama, a definirali su i vjerojatnost za svaki događaj.

U područjima u kojima nisu dostupni statistički podaci koriste se faktori pouzdanosti, najviše u području medicine. Kod dijagnostičkih sustava kao što je MYCIN, pravila i faktori pouzdanosti dolaze od stručnjakovog znanja i njegove procjene. Faktori se koriste u slučajevima kada je vjerojatnost nepoznata ili ju je jako teško izračunati.

Bayesianov pristup i faktori pouzdanosti su drugačiji jedan od drugog, ali dijele zajednički problem: pronalaženje stručnjaka koji je u stanju kvantificirati subjektivne i kvalitativne podatke.

## 5. Primjer ekspertnog sustava za kupnju novog automobila

Ekspertni sustavi mogu se izgraditi za rješavanje bilo kojeg problema s kojim se ljudi mogu sresti. Kao primjer cjelokupnog ekspertnog sustava ovdje je prikazan sustav koji provodi proces odlučivanja o kupnji novog automobila na temelju ulaznih podataka. Također, svim postavljenim pravilima dodijeljeni su faktori pouzdanosti u skladu s ranijim objašnjenjima.

Ulazni podaci: željena boja automobila, željena veličina automobila, snaga, potrošnja, cijena.

Izlazni podaci: Kupiti promatrani automobil ili ne

Pravilo: 1 - IF potrošnja goriva < 6 l/100 km THEN potrošnja je mala {cf 1}

Pravilo: 2 - IF potrošnja goriva 6-9 l/100km THEN potrošnja je srednja {cf 0.8}

Pravilo: 3 - IF potrošnja goriva >9 l/100 km THEN potrošnja je velika {cf 0.8}

Pravilo: 4 - IF snaga < 100 KS THEN snaga je mala {cf 0.8}

Pravilo: 5 - IF snaga je od 100 – 160 KS THEN snaga je srednja {cf 0.8}

Pravilo: 6 - IF snaga > 160 KS THEN snaga je velika {cf 1}

Pravilo: 7 - IF cijena < 80 000 kn THEN cijena je mala {cf 0.8}

Pravilo: 8 - IF cijena od 80 000-130 000 kn THEN cijena je srednja {cf 0.6}

Pravilo: 9 - IF cijena >130 000 kn THEN cijena je velika {cf 0.8}

Pravilo: 10 - IF boja automobila je željena

AND automobil je željene veličine

AND snaga je velika

AND potrošnja je srednja

AND cijena je srednja

THEN kupi promatrani automobil {cf 0.6}

Pravilo: 11 - IF boja automobila nije željena

AND automobil je željene veličine

AND snaga je srednja

AND potrošnja je mala

AND cijena je mala

THEN kupi promatrani automobil {cf 0.8}

Pravilo 12: - IF boja automobila nije zeljena  
AND automobil nije zeljene velicine  
AND snaga je mala  
AND potrosnja je srednja  
AND cijena je velika  
THEN nemoj kupiti promatrani automobil {cf 0.6}

Pravilo: 13 - IF boja automobila nije zeljena  
AND automobil nije zeljene velicine  
AND snaga je velika  
AND potrosnja je velika  
AND cijena je velika  
THEN nemoj kupiti promatrani automobil{cf 1}

Pravilo: 14 - IF boja automobila je zeljena  
AND automobil je zeljene velicine  
AND snaga je velika  
AND potrosnja je mala  
AND cijena je mala  
THEN kupi promatrani automobil {cf 1}

Pravilo: 15- IF boja automobila je zeljena  
AND automobil je zeljene velicine  
AND snaga je srednja  
AND potrosnja je srednja  
AND cijena je srednja  
THEN kupi promatrani automobil {cf 0.6}

Pravilo: 16 - IF boja automobila je zeljena  
AND automobil nije zeljene velicine  
AND snaga je mala  
AND potrosnja je mala  
AND cijena je mala  
THEN kupi promatrani automobil {cf 0.4}

Pravilo: 17 - IF boja automobila nije zeljena  
AND automobil nije zeljene velicine  
AND snaga je srednja  
AND potrosnja je srednja

AND cijena je velika

THEN nemoj kupiti promatrani automobil {cf 0.4}

Pravilo: 18 - IF boja automobila nije željena

AND automobil je željene veličine

AND snaga je velika

AND potrošnja je srednja

AND cijena je mala

THEN kupi promatrani automobil {cf 0.8}

Važno je napomenuti da ekspertni sustav odražava proces zaključivanja ljudskog stručnjaka koji ga je izradio tako da bi proces zaključivanja za rješenje prikazanog problema mogao biti i drugačiji da ga je izradio netko drugi.

Korištenje navedenog sustava:

Ulazni podaci:

- Željena boja automobila: da
- Željena veličina automobila: da
- Snaga : 120 KS
- Potrošnja: 7 l/100 km
- Cijena: 100 000 kn

Kada bi se unijeli navedeni podaci u ekspertni sustav pravila koja bi se izvršila bila bi:

Pravilo: 2 - IF potrošnja goriva 6-9 l/100km THEN potrošnja je srednja {cf 0.8}

Pravilo: 5 - IF snaga je od 100 – 160 KS THEN snaga je srednja {cf 0.8}

Pravilo: 8 - IF cijena od 80 000-130 000 kn THEN cijena je srednja {cf 0.6}

Pravilo: 15- IF boja automobila je željena

AND automobil je željene veličine

AND snaga je srednja

AND potrošnja je srednja

AND cijena je srednja

THEN kupi promatrani automobil {cf 0.6}

Izračunavanjem faktora pouzdanosti za vezivna pravila dobijemo sljedeći rezultat:

$$cf(H, E_1 \cap E_2 \cap E_3 \cap E_4 \cap E_5) = \min [1, 1, 0.8, 0.8, 0.6] \times 0.6 = 0.36$$

Zaključaj to jest izlaz je možda kupiti promatrani auto.

## 6. Zaključak

Ekspertni sustavi su oblik umjetne inteligencije kojima je cilj da računalo misli i radi kao inteligentni asistent u nekom određenom području te da riješi problem umjesto stručnjaka ili pomogne u njegovom rješavanju.

Znanje kod ekspertnih sustava je prikazano kao niz pravila, a svako pravilo prikazuje vezu, preporuku, strategiju ili direktivu u IF ili THEN strukturi.

Najvažnija karakteristika svakog ekspertnog sustava je visoko-kvalitetni rad i pouzdanost dobivenog rješenja. Pri svojem radu ekspertni sustavi koriste dva različita pristupa prilikom provođenja zaključivanja i dobivanja konačnog rješenja: zaključivanje unaprijed i zaključivanje unatrag.

Jedan od glavnih problema ekspertnih sustava su nepouzdanost i nepreciznost podataka. Zbog tih problema se razvio veliki broj numeričkih i ne numeričkih metoda, a najvažnije metode su Bayesianovo rasuđivanje i faktori nepouzdanosti. Navedene dvije metode su drugačije ali dijele zajednički problem: pronalaženje stručnjaka koji je u stanju kvantificirati subjektivne i kvalitativne podatke.

Ekspertni sustavi se i dalje razvijaju, poboljšavaju im se performanse i pouzdanost dobivenog rješenja. Današnjim pristupima kada se kombiniraju s drugim oblicima umjetnih inteligencija (neuronske mreže, neizravno zaključivanje) omogućeno je poboljšavanje njihovih performansi i dobivenih pouzdanijih i točnijih rezultata zaključivanja što im osigurava važnu poziciju među sustavima umjetne inteligencije koji se danas upotrebljavaju.

## 7. Literatura

1. Michael Negnevitsky: Artificial Intelligence - a guide to intelligent systems, ISBN: 0201-71159-1, Addison Wesley, USA
2. <http://autopoiesis.foi.hr/wiki.php?name=Ekspertni+sustavi&parent=NULL&page=2.Povijesni%20razvoj&lang=hr> , 01.07.2015