Dr Vidosav Majstorović,
dipl. inž.,
Dr Gradimir Ivanović,
dipl. inž.,
Dr Dragutin Stanivuković,
dipl. inž.

Ekspertni sistemi za održavanje¹

Postavka problema

U razvoju ekspertnih sistema, danas se primenjuju dva pristupa u njihovom projektovanju i razvoju, i to: (I) produkcionni ekspertni sistemi i (II) ekspertni sistemi vođeni uzorkom. Oba pristupa se primenjuju i za tehnološke eksperimenterne sisteme, ali je danas više razvijenih i primenjenih produkcionnih ekspertnih sistema. Po svojim karakteristikama oni mogu da se klasifikuju u tri grupe: (I) konsultantski ekspertni sistemi pomoću kojih se vrši pretraživanje baze znanja i prezentacija relevantnih činjenica korisniku, (II) ekspertni sistemi za generisanje odluka sa sistemom zaključivanja i objašnjenja procesa rezonovanja pri aktivizaciji znanja i (III) ekspertni sistemi sa učenjem u postojećoj bazi znanja.

Druga grupa predstavlja današnju realnost, a treća grupa će se primenjivati u fabrikama budućnosti.

Za oblast održavanja u tehnološkim sistemima moguće je napraviti komparaciju: primenjene metode za rešavanje inženjerskih problema u održavanju — faze razvoja održavanja — primenjeni ekspertni sistemi, sl. 1.

Danas postoje tri karakteristična pristupa razvoju ekspertnih sistema za

dijagnozu i održavanje. To su (I) istraživačke institucije i kompanije koje isključivo razvijaju ekspertne sisteme za dijagnozu i održavanje (SD-UK, RCA Corp. — USA, itd.), (II) istraživačke in-

Sl. 1 — Relacije: primenjene metode — ekspertni sistemi u održavanju

stitucije koje su odgovarajuće kvantume znanja u oblasti ekspertnih sistema stekle razvojem ekspertnih sistema za druge oblasti (Carnegie Mellon University, Stanford University), da bi ta znanja primenili i u razvoju ekspertnih sistema za dijagnozu i održavanje i (III) kompanije i institucije koje razvijaju opšte »shell-ove«, odnosno skeletne ekspertne sisteme, koji se mogu primeniti i u održavanju (Teknowledge Inc., Intelligent Terminals Ltd., University of Edinburgh).

¹ Članak preuzet iz časopisa: TEHNIKA — OPŠTI DEO 47 (1992) 1—2, 10—13

Ovaj rad se sastoji iz dva dela. U prvom delu prikazane su osnove analize, razvoja i primene karakterističnih ekspertnih sistema za održavanje, a u drugom je dat primer razvijenog domaćeg ekspertnog sistema EXMAS² (Expert Maintenance System). Pri pisanju ovog rada korišćene su reference [1—9].

Ekspertni sistemi u održavanju

Inženjerijske procedure u održavanju i razlozi za korišćenje ekspertnih sistema za njih

Globalno posmatrano, svaki mašinski sistem sa aspekta održavanja prolazi kroz tri faze: (I) u fazi projektovanja vrši se simulacija i modeliranje parametara pouzdanosti i pogodnosti za održavanje, (II) u fazi proizvodnje postavlja se problem projektovanja (planiranja i predikovanja) elemenata logističke podrške za te sisteme i (III) u fazi eksploatacije proces njihovog efikasnog održavanja, primenom adekvatnih modela tehnologije održavanja.

Sve tri grupe aktivnosti sadrže u sebi različite kategorije znanja (deklarativno i heurističko), koje je zasnovano na intuiciji, iskustvu i znanjima čoveka (inženjera projektanta i planera) kao i na odgovarajućim eksperimentima.

Polazeći od ovih činjenica mogu da se navedu sledeći valjani razlozi za primenu ekspertnih sistema u održavanju: (I) stalni zahtevi za povećanje raspoloživosti i pouzdanosti mašinskih sistema koji su sve kompleksniji. Najčešće, mašinski sistemi rade non-stop, pa ova činjenica zahteva kvalifikovanu ekspertizu u svakom vremenskom trenutku, što podrazumeva korišćenje ekspertnog sistema. Na ovaj način omogućuje se da i manje kvalifikovani radnici uz njegovu pomoć izvode intervencije održavanja, (II) znanje o opremi i mašinama sadrži, po pravilu, kompleksne tehnologije i informacije iz različitih oblasti. Zbog toga je teško da jedan stručnjak bude ekspert za različite ob-

lasti, (III) fabrike su danas često suočene sa situacijom da mogu da izgube ekspertizu zbog odlaska zaposlenih. Međutim, razvojem i primenom ekspertnih sistema ovaj problem se prevazilazi, (IV) ako inženjer održavanja opslužuje različite mašine, on za svaku od njih pravi ekspertize koje imaju neka zajednička, kao i posebna znanja. Ekspertni sistemi se grade sa bazom znanja koje to respektuje i koja može da ubrza proces obuke stručnih radnika u održavanju, kao i distribucije ekspertiza i (V) veštačka ekspertiza proizvodi konzistentniju ekspertizu nego čovek ekspert. Čovek može da donosi različite odluke za istu situaciju, jer to, između ostalog zavisi i od emotivnih faktora. Ekspertni sistem je oslobođen ovih uticaja.

Ako se izvrši komparacija između nekih osnovnih karakteristika inženjera održavanja i ekspertnih sistema za tu oblast, moguće je doći do pokazatelja i relacija, kako je to prikazano na sl. 2.

Na osnovu izvršenih analiza može da se kaže da je funkcija ekspertnih sistema u održavanju sledeća: (I) da korisniku predloži najbolju akciju ili skup alternativa za odluku; (II) da korisniku pomogne pri dijagnozi elektronskih, električnih i mehaničkih otkaza, (III) da daje sugestije inženjeru održavanja o specifičnim problemima i (IV) da korisniku omogući koncepcijsko i preliminarno projektovanje za održavanje, kao i planiranje i upravljanje održavanjem.

Izgradnja ekspertnih sistema za održavanje

Za oblast ekspertnih sistema u održavanju, njihovo projektovanje, testiranje i upotrebu koriste se za inženjerstvo znanja jezici veštačke inteligencije, sredstva (alati) za izgradnju sistema na bazi inženjerstva znanja i skeletni sistemi. Ova klasifikacija je nastala kao rezultat razvoja ove oblasti veštačke inteligencije i njene primene za izgradnju ekspertnih sistema različite namene.

R. br.	Ekspertni sistem (E)	E / IO	Inže. održavanje (IO)	Karakterist.
1	Sporo uči	IO	Sposoban za učenje	Učenje
2	Laka dokumentov.	E	Nije sposob. za dokumentov.	Dokument.
3	Relativno skup	E	Znatno skuplji	Cena
4	Lak za umnožav.	E	Nepodes. umnožav. ekspertize	Kopir. znanja
5	Lak za prenos	E	Nepodes. za mjenj. rad. mesta	
6	Tehnička znanja	E	Opšta i logička znanja	Oblast znanja
7	Ne svestan	IO	Svestan	Osetlj.
8	Lako davanje znanja	E	Nepodesan za dopunu znanja	Dopuna znanja
9	Uvek raspoloživ	E	Raspolož. ogranič.	Raspoloživost
10	Dosledan	E	Ne predvidivo	Ponaš.
11	Pomoću simbola	IO	Pomoću čula	Kontakt sa okolinom
12	Uska oblast	IO	Široka oblast	Širina znanja
13	Praktično neogran.	E	Vremenski ograničen	Trajnost
14	Bez inspiracija	IO	Inspirativan	Inspiracija
15	Brz	E	Relativno spor	Brzina znanja
16	Zahteva dodatne isprave	IO	Često nepotrebne	Dodat. instruk.
17	Nepodesan za razne situacije	IO	Prilagod.	Prilagodlj.

Sl. 2 — Poređenje karakteristika ekspertnih sistema i ekspertize čoveka (inženjera)

Svi jezici i alati, koji se koriste u gradnji ekspertnih sistema, mogu da se klasifikuju i prema metodama programiranja i organizacije baze znanja u šest grupa: To su: (I) metod pravila (IF-THEN), i primenjuje se za organizaciju znanja i izgradnju modela interence engine za olančavanje unapred ili unazad, (II) metod frejmova, sl. 3, i seman-

(simptomi
 (jedinica otkaz
 (prenosnik za glavno kretanje
 (DC motor
 (provodnik)
 (prekidač)
 (osigurač)
)
 (DC naponi
 (neispravnost (ako postoji
 (d merljiv napon)
 (regulator))
 (nula
 (osigurač)
 .
 .
 .
)
 (digitalna logika)
 .
 .
 .
)
 (analogni blok)
 .
 .
 .
)
 .
 .
 .

Sl. 3 — Frejm za jedan simptom

tičnih mreža primenjuje se za organizaciju deklarativnog i heurističnog znanja, (III) metod programiranja ekspertnih sistema (baza znanja, inference engine) orijentisan procedurama. Ovaj metod koristi subrutine kao entitete programa za izvršenje odgovarajuće funkcije. Tipičan predstavnik ovog metoda je jezik LISP, (IV) metod programiranja orijentisan objektu. Ovaj metod koristi specijalnu organizaciju programa koja se sastoji od objekata koji predstavljaju entitete i relacije objekta i okoline. Na ovaj način uspostavlja se mrežna hijerarhija u procesu izgrad-

nje sistema. Tipičan programski alat koji koristi ovaj programski model je SMALLTALK, (V) metod programiranja zasnovan na logici, koristi račun predikata za organizaciju baze znanja i izgradnju modela inference engine. Svaka logička relacija po ovom metodu može da se napiše na sledeći način:

naslednik: — prethodnik-1, prethodnik-2, ..., prethodnik-n.

gde su prethodnici predikati čija se tačnost testira. Proces programiranja je orijentisan cilju, pri čemu se porede naslednici. Tipičan jezik ovog metoda je PROLOG, i (VI) metod orijentisan pristupu koji koristi »demone« za nove procedure obrade, kada se menjaju podaci ili se vrši učitavanje novih podataka. Tipičan programski jezik koji radi na ovom principu je LOOPS. Njegova dodatna karakteristika je da ima dobru grafiku.

Primer komparativne analize nekih karakteristika alata za izgradnju ekspertnih sistema za održavanje prikazan je na sl. 4.

Sl. 4 — Karakteristika nekih alata za izgradnju ekspertnih sistema

Jedan primer razvijenog ekspertnog sistema

Polazeći od postavki integralnog pristupa problemima održavanja u ži-

votnom veku jednog mašinskog sistema, definisan je model EXMAS, sl. 5, koji ima tri modula: (I) projektant za održavanje, (II) projektant tehnologije održavanja i (III) planer održavanja. Logika izgradnje i povezivanja znanja modula ostvaruje se preko zajedničke baze znanja.

Sl. 5 — Globalna struktura EXMAKS

Ako se globalna struktura EXMAS-a razloži na njegove entitete, dobićemo njegovu osnovnu arhitekturu, koja sadrži: (I) shell ekspertnog sistema (bazu znanja i inference engine), (II) procesor i (III) komunikacioni interface.

Baza znanja je izgrađena na osnovu postojećih znanja o opštim i posebnim karakteristikama procesa i parametara održavanja mašinskih sistema, polazeći od svih mogućih relacija i veza tih znanja kako je to na jednom primeru prikazano, sl. 6. Naime, moguće je definisati sledeće relacije: jedan simptom — jedna dijagnoza, jedan simptom — više dijagnoza i više simptoma — jedna dijagnoza.

Znanja su predstavljena faktima i pravilima, kojih ima tri vrste (osnovna, zadata i strategijska). Za model konceptijskog određivanja tehnologije održavanja na bazi stanja, primenjuje se olančavanje unapred za inference engine, a za tehnologiju naknadnog održavanja koristi se olančavanje unazad. Funkcionalna struktura znanja definisana je blokovima znanja, pomoću koje se realizuju neke funkcije procesora i inference engine.

Procesor je drugi entitet EXMAS-a koji zaključke inference engine filtrira

Sl. 6 — Osnovne relacije: simptom (I) — dijagnoza (E)

kroz: (I) procedure prepoznavanja za dijagnozu i održavanje (slučajeve i procese), (II) omogućuje realizaciju odgovarajućih logika, opštih i specifičnih za predmetnu oblast, i (III) na bazi kriterijuma optimizacije, preko funkcija, stanja, procesa i cilja optimizira odgovarajuća rešenja.

Komunikacioni interface, za ulaz i izlaz omogućuje komforniji rad korisniku.

Kao primer rada EXMAS-a, navodi se slučaj za obradu centar DECKEL DC-30. Baza znanja je formirana na osnovu klasifikacionih tipičnih otkaza za karakteristične mini mašine: magazin alata, sistem za podmazivanje, glavno vreteno, izmenjivač paleta i izmenjivač (manipulator) alata, sl. 7.

Ona sadrži činjenice o simptomima i elementima obrade stanice gde se oni javljaju. Ovde je iskorišćena mogućnost njihovog kodiranja (E 014.1) kako je to prema dijagnostičkoj software-skoj po-

Sl. 7 — Klasifikacija simptoma za jedan deo mini-mašine OC DC-30

dršci dato za ovu mašinu. Pravilima IF-THEN uspostavljena je veza između: simptoma i elemenata obradne stanice i elemenata strukture i tehnologije naknadnog i planiranog održavanja kao i rezervnih delova.

Korišćenjem EXMAS-a, u ovom slučaju korisnik zamenjuje osnovni manuel za održavanje. Primeri činjenica za simptome i elemente obradne stanice su:

ZA DIJAGNOZU LOKACIJA — izmenjivač — paleta VEROVATNOĆA JE 0.15;

ZA SIMPTOM npp PITANJE JE da-li-je-na-uj-poruka-»024.6«;

Primer pravila za napred navedenu relaciju je:

AKO JE LOKACIJA — izmenjivač-paleta ONDA JE 0.95 0.02 popo;

Posle ovako formirane baze znanja primer dijaloga u EXMAS-u je:

? — find diagnosis.

Is tool magazine turning around: no.

Is there a message »E025.2« on CU: no

Is there a message »E025.3« on CU: yes

Suggested choice(s):

»Location main spindle« ith probability 0.89437262

yes

? — maintenance technology.

For the diagnosis »Location main spindle« maintenance technology is:

With diagnostic subprograms SJ37 and SJ37 establish diagnosis of spindle function then consult maintenance manual 10 * 11 and 18 preventive maintenance

technologu is * Weekly cleaning of motor filter * Monthly check of air cleaning system * Each three months check motor brushes and their replacement if smaller than 8 mm * Each six months check spindle lubrication system * Annual check of radial and axial clearance spindle speed and tool clamping power (1365(KGF)) * Each two years repack motor bearings and replace grease calypsol H443 while the spare parts (part) are:

ID number in catalogue S/P 045604 * 600504 * 50006500 * 500069

yes

? — halt.

Ovaj primer ilustrativno pokazuje konceptijski model dijagnoze i održavanja koji je razvijen u okviru ovog ekspertnog sistema. On omogućuje pla-

neru održavanje da donese pravilne zaključke o stanju mini mašine, daje tisak potrebnih intervencija kao i neophodnih rezervnih delova za odgovarajuće mini mašine.

Umesto zaključka

Izvršena analiza i dati primer nameću sledeće zaključke:

(I) ekspertni sistemi za dijagnozu i održavanje će u neposrednoj budućnosti predstavljati dominantne software proizvode za te namene i

(II) istraživanja radi njihovog projektovanja razvoja i primene zahtevaju interdisciplinarna znanja iz kompjuterskih nauka, veštačke inteligencije i različitih inženjerskih disciplina. Ovaj rad predstavlja doprinos ovim konstatacijama.

Literatura:

- [1] Majstorović V., *Expert Systems for Diagnostics and Maintenance, The State-of-the-Art*, Journal »Computers in Industry«, Vol. 15, pp. 43—68, 1990.
- [2] Majstorović V., Milačić V., *Expert Systems for Maintenance in the CIM Concept*, Journal »Computers in Industry«, Vol. 15, pp. 83—93, 1990.
- [3] Porat S., Rhune D., *Computerizing maintenance expertise*, Journal »I & CM, March, pp. 63—68, 1990.
- [4] Krishnamurthi M. et al., *Knowledge Acquisition in a Machine Fault Diagnosis Shell*, SIGART Newsletter, Number 108, pp. 84—91, 1989.
- [5] Kim S. et al., *A Systematic Approach to Intelligent System Design, I. Concepts*, Journal Robotics & CIM, Vol. 5, pp. 143—155, 1989.
- [6] Kumara S. et al., *Qualitative Reasoning Based Process Diagnostics System*, The Pennsylvania State University, Department of Industrial Engineering, 1990.
- [7] Monostori L., Nacs J., *On the Application of Neural Nets in Real — Time Monitoring of Machining Processes*, Computer and Automation Institute, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 1990.
- [8] Lu S., Tchong D., *Building Layered Models to Support Engineering Decision Making: A Machine Learning Approach*, Journal of Engineering for Industry, Vol. 113/1, pp. 1—9, 1991.
- [9] Majstorović V., Milačić V., *Learning in an Expert System for Maintenance in FMS*, CIRP Workshop of the Intelligent Manufacturing Systems, Budapest, 1991.