

Stipe Fuštar i Mladen Kezunović

Primjena ekspertnih sistema u elektroenergetici

U radu su opisane osnove ekspertnih sistema kao jedne od tehnika vještačke inteligencije, sa aspekta primjene u elektroenergetici. Analizirani su brojni potencijalni problemi i nedoumice kako bi se jasno uočile sve mogućnosti i ograničenja ekspertnih sistema. Na kraju su date moguće smjernice za razvoj ekspertnih sistema u našoj elektroenergetskoj praksi s naglaskom na upravljanje i zaštitu elektroenergetskih sistema.

UDK 621.311.004.14

UVOD

Iako je koncepcija vještačke inteligencije predložena po prvi put pred više od 30 godina tek u posljednje vrijeme, vještačka inteligencija (Artificial Intelligence — AI) i njezina primjena u različitim područjima, privlače sve veću pažnju znanstvenika u čitavom svijetu. Kompjuterska revolucija i dostignuća u razvoju softvera su omogućili računskim strojevima da se ponašaju kao da imaju sposobnost razmišljanja i donošenja odluka. Drugim riječima, zahvaljujući AI programima, za računске strojeve se može kazati da raspolažu sa određenom inteligencijom. Pod inteligencijom računskog stroja, podrazumijeva se sposobnost rezoniranja u određenom kontekstu, donošenje odluka da bi se postigao određeni cilj kao i sposobnost da se na temelju iskustava iz prošlosti nešto nauči odnosno poveća nivo znanja. Može se kazati da su računski strojevi postali »pametniji«. Metode vještačke inteligencije se mogu primijeniti za rješavanje velikog broja problema koji se javljaju praktično u svim područjima života i rada. Svaki problem za koji algoritamski način rješavanja nije primjeren je praktično kandidat za primjenu neke od tehnika vještačke inteligencije.

Područje primjene vještačke inteligencije se može klasificirati na slijedeći način: ekspertni sistemi, robotika, procesiranje govornih jezika, računarsko osmatranje, neuralne mreže itd.

Komercijalni uspjeh prvih ekspertnih sistema je značajno doprineo daljem razvoju svih metoda vještačke inteligencije a posebno je afirmirao ekspertne sisteme. Spomenućemo nekoliko najpoznatijih ekspertnih sistema. Kao prvi ekspertni sistem, općenito se smatra DENDRAL koji je razvijen na sveučilištu Stanford u SAD-u šezdesetih godina. DENDRAL pomaže kemičarima da odrede molekularnu strukturu nepoznate materije. Na temelju brojnih mjerenja ekspertni sistem brzo i pouzdano identificira sastav materije. Na Stanfordu je takođe razvijen i MYCIN, ekspertni sistem za dijagnosticiranje i tretman zaraznih krvnih bolesti u medicini. Ekspertni sistem za simboličko rješavanje matematičkih izraza MACSYMA je sedamdesetih godina razvijen na MIT-u u SAD-u. Za određivanje optimalne konfiguracije minikomputera u DEC-u (Digital Equipment Corporation) je razvijen ekspertni sistem R1, koji na temelju zahtjeva kupaca, predlaže, najpovoljniju konfiguraciju minikomputera VAX.

Kao prva primjena metoda vještačke inteligencije u elektroenergetici općenito se smatra rad Taylora i Schrodera iz 1974. godine [1], gdje se koristila tzv. tehnika prepoznavanja oblika. Prve primjene ekspertnih sistema u elektroenergetici su se pojavile u ranim 80-im godinama. Do danas je razvijen niz ekspertnih sistema i evidentno je da broj ovakvih razvojnih projekata, postaje sve veći, posebno u području planiranja, projektiranja i upravljanja EES-om.

OSNOVE EKSPERTNIH SISTEMA

Ekspertni sistem (ES) se može definirati kao [2]:

„... inteligentni kompjuterski program koji koristi znanje i mehanizam zaključivanja za rješavanje problema koji su dovoljno složeni te je za njihovo rješavanje neophodna značajna stručna ekspertiza».

Osnovna ideja ove definicije je da se jasno istakne razlika između znanja u pojedinom području u odnosu na mehanizam zaključivanja i ulazne podatke. Na taj način se formalno pojednostavnjuje razvoj ekspertnog sistema jer se omogućava postepeno dograđivanje baze znanja.

Znanje potrebno za rješavanje određenog problema i mehanizmi zaključivanja predstavljaju u stvari model rješavanja (ekspertize) najboljih stručnjaka u danom području. Drugim riječima znanje i iskustvo najistaknutijih stručnjaka u pojedinom području se ugrađuju u ekspertni sistem.

Osnovna struktura ekspertnog sistema

Osnovne komponente ekspertnog sistema su:

- Baza znanja
- Mehanizam zaključivanja
- Radna memorija
- Korisnički interfejs

Baza znanja

Baza znanja je osnova svakog ekspertnog sistema i sastoji se od činjenica i tzv. heuristika. Činjenice predstavljaju poznate informacije, javno dostupne i općenito prihvaćene od svih stručnjaka u određenom području. Heuristike su uglavnom prihvatna saznanja i pravila vrhunskih stručnjaka koja su vrlo često ljubomorno čuvana. Heuristike su plod dugogodišnjeg iskustva u pojedinom području, dubokog razumijevanja problema ili pak jednostavno osjećaja. Heuristike karakteriziraju donošenje odluka za rješavanje određenog problema na nivou eksperta.

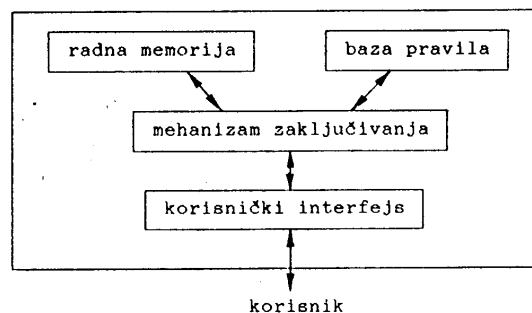
Formiranje baze znanja zahtijeva prikupljanje svih činjenica i heuristika koje su neophodne za rješavanje konkretnog problema. Baza znanja ekspertnog sistema se može organizovati na nekoliko načina kao što su npr. tzv. produkcijska pravila, okviri, semantičke mre-

že, itd. Najpopularniji način organizovanja baze znanja je putem produkcijskih pravila. Produkcijska pravila se često nazivaju jednostavno »pravila« ili »produkcije«. Svako pravilo sadrži jedan mali dio znanja u određenom području. Ukupno znanje odnosno sadržaj baze znanja je podijeljen na veliki broj prikladno odabranih dijelova. Znanje je uglavnom heurističke prirode i relativno jednostavno se može izraziti putem produkcijskih pravila. Ekspertni sistemi kod kojih je baza znanja organizovana kroz produkcijska pravila se nazivaju i produkcijski sistemi a baza znanja se naziva baza pravila. Može se uočiti da je svaki produkcijski sistem ekspertni sistem, dok svaki ekspertni sistem ne mora nužno da bude i produkcijski sistem. Naime baza znanja ekspertnog sistema se može organizovati i na neki drugi način.

Svako pravilo ima dva dijela, premisu i zaključak, odnosno situaciju i akciju. Pripadne naredbe se pišu na način: AKO (IF) — TADA (THEN). Prvi dio, premisa ili situacija se naziva »lijeva strana« pravila i prethodi mu riječ AKO (IF). Drugom dijelu prethodi riječ TADA (THEN) i naziva se »desna strana« pravila. Produkcijsko pravilo se može pisati u obliku:

AKO »a«, TADA »b«

Tipična struktura jednog ekspertnog sistema kod kojeg je baza znanja organizovana kao baza pravila je prikazana na slici 1.

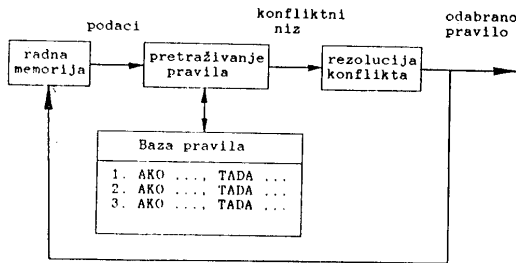


Sl. 1 — Struktura ekspertnog sistema

Mehanizam zaključivanja

Mehanizam zaključivanja predstavlja algoritam koji upravlja postupkom rezoniranja. Takođe se naziva i »upravljački program« ili »interpretator pravila«. Mehanizam zaključivanja pretražuje bazu znanja da bi došao do zaključka, odnosno akcije.

Niz povezanih AKO — TADA pravila formira liniju rezoniranja ili liniju zaključivanja. Pravila se mogu povezati na različite načine. Ukoliko su pravila povezana na način da postupak polazi od niza uvjeta i kreće se u pravcu mogućeg zaključka odnosno rješenja problema, onda se takav način povezivanja naziva »unapredno povezivanje«. Ukoliko je pak zaključak odnosno rješenje poznato a potrebno je odrediti okolnosti, odnosno uvjete koji su doveli do tog zaključka, tada je linija rezoniranja obrnuta i naziva se »povratno povezivanje«. Kod »unaprednog povezivanja« pravila mehanizam zaključivanja pretražuje lijevu stranu pravila da bi pronašao pravilo(a) koje(a) ispunjava dane uvjete. Kod povratnog povezivanja analizira se desna strana pravila da bi se našlo jedno ili više pravila koja ispunjavaju dani zaključak (cilj). Jedan tipičan mehanizam zaključivanja za unapredno povezivanje pravila je prikazan na slici 2. Ovakav mehanizam zaključivanja se još naziva podacima-upravljan mehanizam.



Sl. 2 — Podacima — upravljan mehanizam

Mehanizam zaključivanja sa slike 2. funkcioniše na način da se, uvažavajući podatke iz radne memorije, pretražuje lijeva strana svih pravila da bi se našlo pravilo koje ispunjava dane uvjete. Za takvo pravilo se realizira desna strana pravila odnosno zaključak ili akcija. U žargonu se kaže da je pravilo ispućano. Vrlo često se događa da nekoliko pravila ispunjava uvjete (lijeva strana zadovoljena). Zadatak je mehanizam zaključivanja da razriješi konflikt (rezolucija konflikta) i da odabere pravilo koje će se primijeniti. Kada je pravilo realizirano (ispućano), jedan dio postupka zaključivanja je završen. Mehanizam zaključivanja nastavlja da pretražuje bazu pravila sve dok se ne dođe do rješenja. Postupak je praktično završen kada nijedno pravilo ne ispunjava dane uvjete ili kada se eksplicitno zahijeva zaustavljanje.

Radna memorija

Radna memorija predstavlja bazu podataka i sadrži sve potrebne informacije o fizičkom sistemu koji se obrađuje. Potrebno je također

naglasiti dinamičku prirodu radne memorije jer se ona mijenja tokom izvođenja programa, praktično nakon svake primjene jednog od niza pravila u bazi pravila ekspertnog sistema. Kako mehanizam zaključivanja realizira određena pravila tako se i donose određeni zaključci koji se zapisuju u radnu memoriju. Mehanizam zaključivanja sada kod ponovnog pretraživanja pravila koristi nove zaključke odnosno novi sadržaj radne memorije da bi pronašao pravila koja ispunjavaju dane uvjete. Na kraju izvođenja programa radna memorija sadrži čitavu liniju zaključivanja. Naime pored ulaznih podataka radna memorija sadrži sve zaključke koji su izvedeni na putu do konačnog rješenja. Za obradu podataka u bazi podataka odnosno radnoj memoriji mogu se koristiti različite standardne baze podataka kao što su npr. relacione baze podataka.

Korisnički interfejs

Korisnički interfejs predstavlja programe, odnosno dijelove programa koji su povezani sa mehanizmom zaključivanja, bazom znanja i bazom podataka a omogućavaju udobnu komunikaciju sa korisnikom. Programira se na način da se što više koristi govorni jezik, kako bi komunikacija sa korisnikom bila što jednostavnija i razumljivija. Korisnički interfejs prosljeđuje ulazne podatke na dva načina: (1) Ekspertni sistem može da pita korisnika određena pitanja gdje korisnik mora da odgovori na odgovarajući način. Vrlo često korisnički interfejs je programiran na način da ekspertni sistem nudi listu potencijalnih odgovora, gdje korisnik treba da se odluči između nekoliko mogućnosti. (2) Korisnički interfejs može da ima određenu ulogu i tokom postupka zaključivanja. Ukoliko ekspertni sistem nema dovoljno informacija da izvede zaključak ekspertni sistem može da zatraži informacije koje mu nedostaju da bi mogao da izvede zaključak.

Ponekad se korisnički interfejs realizira na način da se ugrađuje u produkcijsko pravilo koristeći vrlo jednostavni govorni rječnik odnosno stručni žargon. U tom slučaju uvijek kada se takvo pravilo realizira slijedi i popratni tekst na ekranu.

Vrlo često se ekspertnim sistemima dodaje tzv. funkcija objašnjenja. Naime kada ekspertni sistem donese određeni zaključak, korisniku se daju objašnjenja tipa zašto i kako se došlo do konačnog rješenja. To je naročito važno u prvoj fazi primjene ekspertnog sistema jer na taj način korisnik stječe povjerenje u ekspertni sistem. Kod razvoja ekspertnog sistema, funkcija objašnjenja može biti vrlo korisna jer olakšava kako kvalitativnu analizu donesenih zaključaka, tako i nužne korekcije.

Programski jezici za ekspertne sisteme

Ekspertni sistemi predstavljaju softver za čiji se razvoj i programiranje mogu koristiti standardni programski jezici (FORTRAN, PASCAL, C itd.) i praktično bilo koji računski stroj. Ipak potrebno je naglasiti da postoje i da su se afirmirali specijalni softverski paketi za ekspertne sisteme i vještačku inteligenciju kao i odgovarajući programski jezici. Takvi softverski paketi se nazivaju »razvojni alat za ekspertne sisteme« odnosno AI alat. AI alat ili kako se često kaže školjka ekspertnog sistema (expert system shell) predstavlja niz programa koji omogućavaju kreiranje ekspertnih sistema bez da se koristi programski jezik. Školjka ekspertnog sistema je u suštini, kompletan ekspertni sistem bez baze znanja. Školjka ima mehanizam zaključivanja, korisnički interfejs, funkciju objašnjavanja i jednostavno organiziran način formiranja baze znanja. Zadatak je stručnjaka koji kreira ekspertni sistem da definiira bazu znanja. Programski jezici i alati vještačke inteligencije su prikazani u tabeli 1.

Programski jezici i alati vještačke inteligencije

Tabela 1.

AI jezici	AI alati
LISP	ART
Prolog	KEE
Fortran	KC
C	OPS-5
Basic	OPS-83
Pascal	KES

Praktično svi navedeni jezici i alati su korišteni za razvoj ekspertnih sistema. Potrebno je napomenuti da standardni programski jezici kao što su Fortran, Pascal, C i Basic nisu efikasni za analizu simboličkih informacija, što je i osnovna namjena ekspertnih sistema, dok ostali AI jezici i alati nisu dobri za numeričke analize jer im je to nenamjenska funkcija. Za primjenu ekspertnih sistema u elektroenergetici s aspekta izbora programskog jezika odnosno školjke vrlo je važna kompatibilnost jezika (ES školjke) sa postojećim softverom. Kao što je poznato postojeći softver u elektroenergetici je uglavnom napisan u Fortranu, što je i logično jer je većina aplikacija numeričke prirode, gdje je Fortran kao programski jezik neprikosnoven. Ukoliko se želj ostvariti komunikacija ekspertnog sistema i postojećeg softvera potrebno je izabrati jezik odnosno školjku koja to omogućava. Jedan od najjednostavnijih načina je realizovati ekspertni sistem u Fortranu ali pri tome se mogu očekivati znatne poteškoće pri programiranju a postavlja se i pitanje efikasnosti takvog ekspertnog sistema.

Jedna od ES školjki, OPS-83 čini se da ima određene prednosti u usporedbi s drugim jezicima i školjkama sa aspekta primjene u elektroenergetici jer je kao prvo nekoliko puta brži od npr. Prologa i LISP-a. Zatim, ima vrlo efikasan mehanizam zaključivanja i omogućava relativno udobnu komunikaciju sa programima u drugim jezicima kao što su Fortran, C itd.

Razvoj i gradnja ekspertnog sistema

Razvoj ekspertnog sistema se može podijeliti u nekoliko karakterističnih faza:

— Identifikacija — Prvi korak u razvoju ekspertnog sistema je definiranje problema. Problem je neophodno u potpunosti fizikalno sagledati i definirati postupak donošenja odluka. Nadalje je potrebno vidjeti da li je moguće znanje neophodno za rješavanje problema formulirati kao bazu znanja odnosno da li je uopće potrebno znanje raspoloživo odnosno da li ga je moguće prikupiti. Neophodno je zatim procijeniti da li je metoda rješavanja putem razvoja ekspertnog sistema primjerena i vrijedna truda i sredstava. Pri tome je također, potrebno valorizirati dosadašnja dostignuća odnosno mogućnosti algoritamskog pristupa.

— Izbor programskog jezika odnosno školjke — Izbor jezika odnosno školjke se obavlja u skladu sa određenim zahtjevima u smislu mjesta korištenja i uloge ekspertnog sistema. S druge pak strane vrlo često su mogućnosti limitirane raspoloživim financijskim sredstvima te je izbor jezika trivijalan, tj. izabire se jezik odnosno školjka koja se već ima neovisno o njegovim ograničenjima i kvalitetama. Izbor jezika je vrlo važan, premda ne i presudan. Naime ukoliko se ukaže potreba praktično je uvijek moguće ekspertni sistem reprogramirati na drugi jezik.

— Inženjering znanja — Znanje neophodno za rješavanje problema je potrebno prikupiti. To se odvija na način da se prouči sva dostupna literatura i intervjuiranjem vrhunskih stručnjaka — eksperata.

— Konceptualizacija — U ovoj fazi, u slučaju da je neophodno znanje raspoloživo, potrebno je odrediti način odnosno koncepciju formuliranja znanja u bazi znanja. Također se određuje struktura i organizacija baze znanja obzirom na definiranu koncepciju. Nadalje potrebno je definirati listu ulaznih podataka.

— Formalizacija — Raspoloživo znanje se formulira u obliku niza pravila. Sva pravila su u ovoj fazi napisana govornim jezikom. Potrebno je također, utvrditi sve linije rezoniranja

nja. Kod velikih ekspertnih sistema to je vrlo teško zbog ogromnog broja mogućih kombinacija.

— Implementacija — Sva pravila koja su napisana govornim jezikom potrebno je napisati u odabranom programskom jeziku ili školjci. Ovdje spada i ispravljanje formalnih i jednostavnih logičkih grešaka u programu.

— Testiranje i verifikacija — Testiranje i verifikacija ekspertnog sistema je možda najvažniji korak u razvoju sistema jer se praktično ispituje kvalitet i svrsishodnost ekspertnog sistema. Pri tome je testiranje potrebno sveobuhvatno organizirati, odnosno potrebno je testirati sve moguće scenarije i sve linije zaključivanja. Dobivene rezultate potrebno je kritički analizirati i usporediti sa rezultatima stručnjaka i drugih metoda. Veoma važno je usporediti efikasnost ekspertnog sistema u smislu potrebnog vremena za donošenje konačnog zaključka. Da bi ekspertni sistem bio opće prihvaćen neophodno je da kvalitetom rješenja i (ili) brzinom donošenja konačnog zaključka bude superioran u odnosu na stručnjaka — čovjeka odnosno odgovarajuću algoritamsku metodu (ukoliko postoji).

— Održavanje ekspertnog sistema — Održavanje ekspertnog sistema je od interesa kada je sistem već isporučen korisniku. Neophodno je za ekspertni sistem izraditi vrlo preciznu i jasnu dokumentaciju kako bi korisnik mogao, ukoliko se ukaže potreba, relativno lako da dograđuje bazu znanja.

MOGUĆNOSTI I OGRANIČENJA EKSPERTNIH SISTEMA

Vrlo je korisno u početku jasno naznačiti razlike između softvera koji se do sada razvijao i koristio u elektroenergetskoj praksi i ekspertnih sistema jer se na taj način mogu najbolje shvatiti prednosti i nedostaci ekspertnih sistema. Općenito se može naglasiti nekoliko bitnih razlika između tzv. »tradicionalnog« softvera i ekspertnih sistema:

— Kod tradicionalnog softvera znanje karakteristično za određeni problem i način kako se rješava problem je najčešće pomiješano u programu. Drugim riječima nije moguće jasno odvojiti znanje i postupak zaključivanja. Na taj način ukoliko se kod rješavanja nekog problema došlo do novih saznanja vrlo je teško nova znanja uključiti u postojeći program, a da se čitav program kompletno ne programira ponovno. Kod ekspertnih sistema zahvaljujući činjenici da su znanje i mehanizam zaključivanja jasno podijeljeni, svako ugrađivanje novih saznanja se vrlo lako izvodi npr. jedno-

stavnim dodavanjem nekoliko novih produkcijskih pravila. Pri tome nikakve intervencije u mehanizmu zaključivanja nisu nužne.

— Ekspertni sistemi uglavnom analiziraju simboličke informacije za razliku od tradicionalnog softvera gdje se uglavnom izvode numerički proračuni kao što su npr. proračun točkova snaga i napona, proračun kratkog spoja itd.

— Ekspertni sistemi se pretežno bave s problemima gdje znanje nije determinističke prirode, gdje postoji određena nepreciznost i neodređenost kod zaključivanja. S druge strane tradicionalnim softverom se uglavnom rješavaju problemi za koje postoje matematički modeli problema i algoritmi rješavanja.

— Ekspertni sistem je moguće programirati sa funkcijom objašnjenja, za razliku od tradicionalnog softvera gdje su izlazni rezultati dani u formi niza podataka bez odgovarajućih objašnjenja.

— Tradicionalni softver se može podijeliti na teoriju upravljanja, matematičko programiranje, modeliranje i simulaciju. Kada su problemi vrlo složeni s velikim brojem nepoznanica i mogućih kombinacija, te ih je vrlo teško, praktički nemoguće riješiti metodama npr. matematičkog programiranja, razvijaju se modeli gdje se sa različitim ulaznim podacima simuliraju različiti scenariji. Kao što je poznato to se naziva simulacija. Izbor scenarija vrši stručnjak odnosno ekspert na temelju poznavanja i razumijevanja problema. Kakva je veza između simulacije i ekspertnih sistema? Ekspertni sistem je također u suštini model, ali model eksperta odnosno njegovog znanja na temelju kojeg rješava problem. Kod modeliranja pak, model predstavlja opis problema i stručnjak s tim modelom vrši simulacije odnosno koristi ga u skladu sa svojim znanjem.

Općenito se može kazati da ekspertni sistemi imaju veću fleksibilnost, da proširuju broj problema koji se može rješavati računskim strojem te da omogućavaju bolju interakciju s korisnikom.

Očigledno je da se sa ekspertnim sistemima otvaraju nove mogućnosti u razvoju softvera za primjenu u elektroenergetici. Da bi se na neki način spriječilo »pomodarstvo«, odnosno da se ne bi stekao osjećaj da se sa ekspertnim sistemima može riješiti sve, neophodno je ukazati i na ograničenja i poteškoće u primjeni ekspertnih sistema.

— Prvo ograničenje se odnosi na numeričke proračune gdje su ekspertni sistemi vrlo neefikasni jer im je to nenamjenska funkcija.

U slučaju gdje se imaju numerički proračuni moguće je taj dio realizirati kao potprogram ekspertnog sistema, u nekom drugom jeziku npr. Fortranu.

— Interfejs sa drugim programskim jezicima je često nemoguć i općenito nije trivijalan.

— Programski jezici i školjke za ekspertne sisteme još se uvijek razvijaju i moguća su znatna poboljšanja. Naime cilj je što više »približiti« programski jezik i govorni jezik.

— Programski jezik ili školjka mogu biti vrlo spori kod izvođenja.

— Vrlo vjerojatno, složeniji ekspertni sistemi mogu zahtijevati veliku memoriju.

— U nekim slučajevima moguće je da se naide na velike probleme kod kompletiranja i specifikiranja neophodnog znanja za ekspertni sistem.

PODRUČJA PRIMJENE U ELEKTROENERGETICI

Ekspertni sistemi se mogu primijeniti za rješavanje niza problema u elektroenergetici kao što su: upravljanje, dijagnosticiranje stanja, osmatranje, analiza, konsultacije, interpretiranje, planiranje, projektiranje, podučavanje, objašnjavanje itd. Primjena može biti svrsishodna u svim područjima elektroenergetike tj. u distribuciji, prenosu i proizvodnji odnosno kod izgradnje, eksploatacije, pogona i održavanja elektroenergetskog sistema.

U nastavku se najprije navode moguće primjene kod vođenja EES-a, a zatim su obrađene i karakteristike funkcija zaštite i upravljanja.

Primjene kod vođenja EES-a

1) Procesiranje alarma: Poznato je da npr. dispečeri kod upravljanja EES-om u pojedinim situacijama dobivaju na stotine alarma koji nisu selekcionirani obzirom na njihovu važnost. Reduciranje broja alarma u skladu sa određenim prioritetima, kao i njihova sažetija forma prezentiranja u obliku poruke na ekranu, bi u mnogome olakšala rad dispečerima.

2) Restauracija EES-a: Kvarovi i ispadi elemenata EES-a su svakodnevnica kod vođenja i upravljanja. Da bi se smanjila dužina trajanja kvara moguće je razviti ekspertni sistem za uspostavljanje normalnog pogonskog stanja mreže. Ovo je naročito aktuelno u cilju

sprječavanja raspada EES-a kao i uspostavljanja sistema nakon raspada.

3) Lociranje kvarova: Lociranje kvara se može odrediti na osnovu uklopnog stanja i topologije mreže.

4) Regulacija napona: Održavanje napona u određenim granicama je veoma važno sa stajališta kvalitete i pouzdanosti opskrbe potrošača električnom energijom. Pravilnim upravljanjem izvorima jalove snage kao i prenosnim omjerima transformatora moguće je na temelju iskustva dispečera razviti ekspertni sistem.

5) Proizvodnja u EES-u: Metode ekonomskog dispečinga kao i raspodjele opterećenja među elektranama na temelju znanja stručnjaka-dispečera moguće je osjetno poboljšati uvođenjem ekspertnih sistema.

6) Upravljanje opterećenjem: Poznato je da se odgovarajućim upravljanjem opterećenjem mogu ostvariti znatne uštede u smislu smanjenja vršnog opterećenja a s time i potrebne instalirane snage. U ovu kategoriju bi se mogle uključiti i nepopularne redukcije.

7) Predviđanje opterećenja: Izbor osnovne krivulje, vremenskog faktora i svih ostalih parametara modela se može regulisati ekspertnim sustavom.

8) Planiranje razmjene: Razmjena između povezanih sistema se planira s ciljem da se minimiziraju ukupni troškovi, što bi za našu elektroenergetsku praksu, s obzirom na niz specifičnosti, moglo biti od posebnog interesa.

9) Dispečerski interfejs: Pod ovim se podrazumijeva razvoj takvog ekspertnog sistema kojim bi se omogućilo udobno manipulisanje raspoloživim programima, pravilno dijagnostičiranje i u svakom trenutku osiguravale pravovremene i jezgrovite informacije za dispečera.

Prethodno navedene moguće smjernice se odnose uglavnom za područje upravljanja EES-om gdje je za očekivati da bi ekspertni sistemi bili i najkorisniji. Naime uočeno je da u složenim situacijama, u vremenskom tjesnacu, pod panikom i vrhunski obučeni stručnjaci mogu da naprave vrlo ozbiljne pogreške koje imaju za posljedicu znatne materijalne štete. Značajno je napomenuti da se lista potencijalnih aplikacija s ovim ne zaključuje. Čak što više, za očekivati je ubrzano pronalaženje novih tema za primjenu ekspertnih sistema u elektroenergetici, tim više kada se do kraja sagledaju sve potencijalne mogućnosti. Pri tome uvijek treba imati na umu svrsishodnost uložеног vremena odnosno sredstava.

Karakteristike obrada funkcije zaštite i upravljanja

U ovom dijelu se komentarišu funkcije upravljanja vezane za djelovanje zaštite. Pri tome su dane karakteristike pojedinih obrada vezanih za funkcije zaštite i upravljanja. Analiza ovih karakteristika ukazuje na određene mogućnosti pojednostavljenja, pa čak i eliminiranja nekih problema ukoliko se primijeni tehnika ekspertnih sistema. Tabela 2 daje pregled pojedinih obrada koje su svojstvene funkcijama zaštite, i za njih vezanih funkcija upravljanja.

U tabeli se navode dvije osnovne karakteristike ovih obrada: potrebno vrijeme odziva i vrijeme realizacije. Kao što se vidi, zahtijevano vrijeme odziva varira od nekoliko milisekundi do nekoliko sekundi, ili minuta. Način realizacije navedenih funkcija može biti automatski (A), tj. bez prisustva operatera, te na način da operater donosi glavne odluke (O). Može se uočiti da neke od obrada nisu do sada realizovane (N). Neke obrade koje su do danas automatizovane, neke koje izvršava operater kao i neke koje danas nisu realizovane mogu se realizovati putem tehnike ekspertnih sistema (E).

Na temelju analize vremenskog odziva pojedinih obrada područje potencijalne primjene ekspertnih sistema se znatno sužava. Naime, na današnjem nivou razvoja računara, postupak pretraživanja baze znanja u cilju donošenja odluke, traje relativno dugo. Od budućeg razvoja računara a posebno tzv. simboličkih mašina koje su upravo dizajnirane za obradu simboličkih informacija, očekuju se znatna po-

boljšanja u smislu brzine obrade. Za sada je realno očekivati da se ekspertni sistemi za funkcije zaštite i upravljanja mogu primijeniti prvenstveno za obrade čiji je zahtijevani odziv reda veličine nekoliko sekundi ili duže. Tipičan primjer za ove obrade su funkcije zaštite vezane za detekciju i verifikaciju kvarova za koje su karakteristične spore i/ili prelazne pojave. Karakterističan slučaj ovakvih prelaznih pojava je ponašanje plinova u izolacionom ulju transformatora snage. Nadalje, kvarovi vezani za dotrajalost izolacije se manifestiraju generiranjem posebnih plinova, čija analiza omogućava detekciju procesa slabljenja dielektričnih osobina izolacije. Današnji nivo razvoja mjernih sistema za analizu plinova je takav da se ova analiza može izvršiti automatski. Medutim, interpretacija rezultata ovakve analize je vrlo složen proces i zahtijeva iskustvo i znanje pojedinaca različitih profila uključivo kemičare, fizičare i elektro-inžinjere. Dosadašnja praksa pokazuje da su postojeće metode za ovako kompleksnu analizu, veoma složene, te ne postoji efikasan način za korištenje ovih metoda za automatski nadzor i zaštitu transformatora.

KARAKTERISTIKE ISTRAŽIVANJA U PODRUČJU EKSPERTNIH SISTEMA

U zadnjih nekoliko godina publicirano je dosta članaka i radova [3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12] iz područja ekspertnih sistema u elektroenergetici. Uočeno je da su mnogi problemi iz domena vodenja i planiranja elektroenergetskog sistema upravo idealni za primjenu ekspertnih sistema. Naime, problematika pogona elektroenergetskih sistema postaje svakim danom sve kompleksnija tako da operateri/disper-

Karakteristike obrada funkcija zaštite i upravljanja

Funkcija/Obrada	vrijeme odziva	Tabela 2	
		način realizac. (u buduće)	način realizac. (sada)
Zaštita:			
— detekcija kvara	1 — 10 ms	A	A
— klasifikacija kvara	1 — 10 ms	A	A
— verifikacija kvara	1 — 10 ms	A	A
— komande isključenja	1 — 10 ms	A	A
Lokacija kvara	1 — 10 s	E	A
Alarmiranje:			
— generisanje alarma	1 — 10 s	A	A
— interpretacija alarma	1 — 30 s	E	O
Dijagnostičiranje kvara:			
— verifikacija podataka	1 — 10 s	E	N
— određivanje dijela u kvaru	1 — 30 s	E	O
— kvalifikacija kvara	1 — 10 s	E	O
Restauracija mreže:			
— određivanje sekvence	1 — 15 min	E	O
— verifikacija valjanosti sekvence	1 — 30 s	F	N
— iniciranje sekvence	1 — 10 s	O	O
— izvršenje sekvence	1 — 15 min	A	O
— verifikacija konačnog stanja	1 — 5 min	E	N

će
m.
ve
ek
m
od
da
ti
u
ra
ra

m
ki
si
m
si
be
ne
Si
si
ke

za
zi
of

Pi

Ti

Di

Pl

Uj

Pi

Ti

M

pe

oč

je

oc

de

ge

ti

ni

si

Šj

ni

ti

ve

m

ve

te

st

EI

čeri moraju, u svrhu optimalnog vođenja sistema da analiziraju veliki broj podataka. Upravo taj moment sve veće složenosti kod vođenja elektroenergetskog sistema, kao i ograničene mogućnosti brzine zaključivanja i donošenja odluka ljudskog bića (dispečera), predstavljaju danas vrlo ozbiljan problem. Tome treba dodati činjenicu da su se ozbiljni problemi javljali u slučajevima odlaska vrhunskih dispečera iz različitih razloga kao što su npr. promjena radnog mjesta ili penzioniranje.

Današnje stanje u razvoju ekspertnih sistema u elektroenergetici se može okarakterisati kao faza razvoja u kojoj je većina ekspertnih sistema razvijena na nivou prototipa. Pri tome se vrlo rijetko testiranje odvija na realnom sistemu. Po pravilu se testiranje provodi u laboratorijskim uvjetima vrlo često na specijalno određenu svrhu razvijenim simulatorima. Simulator u tom slučaju reprezentuje realni sistem i to samo za one situacije i događaje koje konkretni ekspertni sistem obrađuje.

Kao mjera mogućnosti ekspertnih sistema za primjenu u elektroenergetici, može poslužiti jednostavni statistički pregled [9] dosad obrađenih tema koji je dan u tabeli 3.

Procenat objavljenih članaka

Tabela 3

Tip primjene	Procenat primjene
Dijagnosticiranje	41%
Planiranje	19%
Upravljanje	18%
Projektovanje (dizajn)	11%
Predviđanje	8%
Trening stručnjaka	3%

Može se uočiti da je najveći broj primjena u području dijagnosticiranja (41%), što je i za očekivati jer je dijagnosticiranje samo po sebi jedan misaoni proces karakterističan za ljude odnosno stručnjake. Također se može zaključiti da dominiraju teme koje obrađuju elektroenergetski sistem (planiranje, upravljanje, projektiranje...).

Prema raspoloživim informacijama, do trenutka kada se ovaj rad piše, četiri ekspertna sistema rade on-line i to u SAD-u, Japanu, Španiji i Njemačkoj. Pri tome treba napomenuti da nema jasne granice između faze praktičnog korištenja ekspertnih sistema i faze razvoja. Za to postoji nekoliko razloga:

1) Proces gradnje svakog ekspertnog sistema je jedna iterativna procedura između razvoja, stalnog poboljšavanja i praktičnog korištenja koje se uglavnom odvija u laboratorijskim uvjetima.

2) Predloženi ekspertni sistemi za primjenu u elektroenergetici su uglavnom realizovani kao »konsultanti« ili kao pomoć dispečerima.

3) Proizvodnja ekspertnog sistema na nivou prototipa je različita od razvoja prototipa tradicionalnog softvera za primjenu u elektroenergetici, jer zahtijeva verifikaciju koja je mnogo složenija i po pravilu dugotrajniji postupak.

Općenito se kao prvi isporučeni i instalirani sistem smatra ekspertni sistem nazvan CRAFT [3]. CRAFT je razvijen na sveučilištu Washington u SAD-u. CRAFT ima zadatak da u distributivnoj mreži nakon djelovanja zaštite predloži dispečeru određene korake s ciljem da se u što kraćem roku izoluje kvar, kako bi vrijeme ispada potrošača bilo što kraće. Ekspertni sistem je instalisan u dispečerskom centru kompanije Puget Sound, Power & Light (Seattle), a implementiran je na stroju DEC Micro VAX II. Ekspertni sistem ima preko 300 produkcijskih pravila a programiran je u ekspert-sistem školjci OPS-83. U skoroj budućnosti se očekuje instalisanje niza ekspertnih sistema.

ZAKLJUČAK

U radu su opisane osnove ekspertnih sistema kao jedne novovalne softverske metodologije koja sve više nalazi primjenu u svijetu. Definirani su i pojašnjeni osnovni pojmovi i kritički su analizirane mogućnosti i ograničenja u elektroenergetici. Navedena su i potencijalna područja primjene sa naglaskom na primjene za vođenje EES-a. Najveće ograničenje nije spomenuto u radu a odnosi se na konzervativnost ljudi u svim elektroprivredama svijeta, pa tako i kod nas. Važno je naglasiti da je za razvoj ekspertnih sistema u elektroenergetici, odnosno za identifikaciju problema i prikupljanje znanja nužno sudjelovanje najiskusnijih i najrenomiranijih ljudi iz elektroprivrede. Sa zadovoljstvom se može konstatovati da je iskustvo pokazalo, da su se upravo vrhunski i najiskusniji stručnjaci iz elektroprivreda, sa velikim entuzijazmom uključili u razvoj novih ekspertnih sistema jer je njihovo znanje i iskustvo doživelo punu afirmaciju.

Literatura

- [1] Taylor F. J., Schroder D.C., »Economic Scheduling Using Artificial Intelligence«, Annual Symp. Rec. IEEE Sys. Man Cyber. Group, Vol. 1974 pp 221—225.
- [2] Feigenbaum E. A., »Knowledge Engineering for the 1980's«, Computer Science Department, Stanford University, 1982.

- [3] Lui C.C., Damborg M.J., »Development of Expert Systems as On-Line Power System Operational Aids«, EPRI Final Report, EL-5635, Feb. 1988.
- [4] Wollenberg B.F., »Feasibility Study for an Energy Management System Intelligent Alarm Processor: IEEE Transaction on Power Systems, Vol. PWRS-1, No. 2, May 1986. pp. 241—247.
- [5] Komai K., Sakaguchi T., Takeda S., »Power System Fault Diagnosis with an Expert System Enhanced by the General Problem Solving Method, «IASTED Conference, Bozeman, Montana (USA), Aug. 1986.
- [6] Lui C.C., Tomsovic K., »An Expert System Assisting Decision-Making of Reactive Power/Voltage Control«, IEEE Transaction on Power Apparatus & Systems, Vol. PWRS-1, No. 3, pp. 195—201, Aug. 1986.
- [7] Dillon T.S., »Expert-Systems — Potential and Limitations in the application to power systems«, Proceedings of the Symposium on Expert Systems Applications to Power Systems, Stockholm-Helsinki, Aug. 22—26, 1988. pp. 18—1 — 18—9.
- [8] Fuštar S., Hsieh J., »A Knowledge-Based Method for Revision of Yearly Generator Maintenance Schedule«, Proceedings of the Symposium on Expert Systems Applications to Power Systems, Stockholm-Helsinki, Aug. 22—26, 1988. pp. 9—23 — 9—29.
- [9] Zhang Z.Z., Hope, G.S., Malik O.P., »Expert Systems in Electric Power Systems — A Bibliographical Survey«, IEEE PES Winter Meeting, New York, Januar 29 — February 3, 1989.
- [10] Proceedings of the First Symposium on Expert Systems Applications to Power Systems, Stockholm-Helsinki, Aug. 22—26, 1988 .
- [11] Proceedings of the Second Symposium on Expert Systems Applications to Power Systems, Seattle, July 17—22, 1989.
- [12] Fuštar S., »A Knowledge-Based Method for Generator Maintenance Scheduling of Multi-Interconnected Power Systems«, Proceedings of the Symposium on Expert Systems Applications to Power Systems«, Seattle, July 17—22, 1989.

Autori:

Dr Stipe Fuštar, dipl. inž.
Zavod za elektroenergetiku
Fakultet elektrotehnike, strojarstva
i brodogradnje Split

Dr Mladen Kezunović, dipl. inž.
TexasA&M University
Department of Electrical Engineering
College Station, Texas 77843—3128
USA