

VIA
VITA



CESTE I MOSTOVI

broj

3

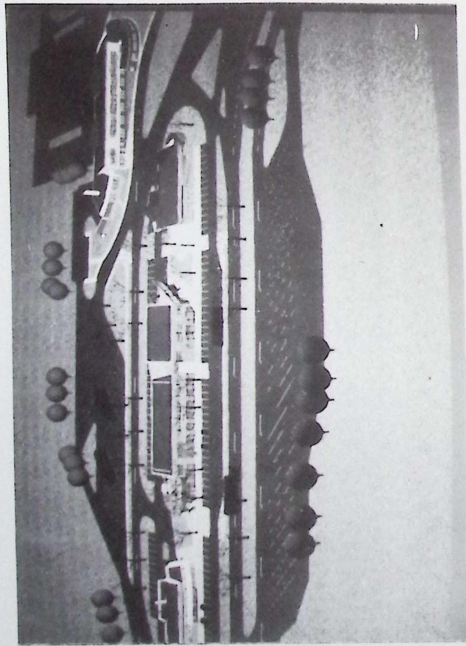
godište 39.

Zagreb, ožujak 1993.

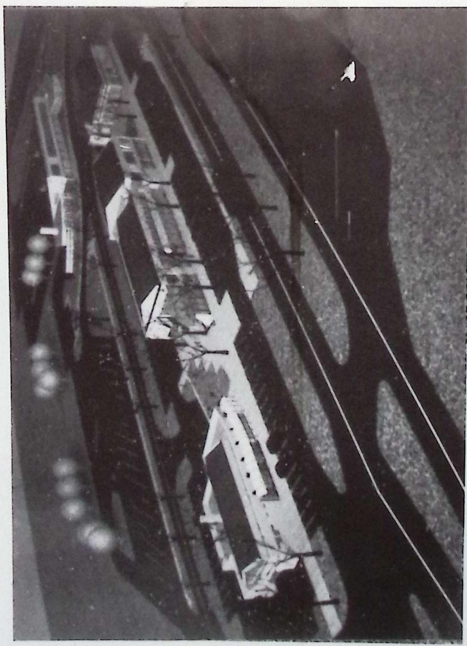
UDK 625.7:624.2/8

CODEN CSMVB2

ISSN 0411-6380



Novi granični prijelaz Gorican — kompjutorski modeli



Slika na ovoj stranici: **Novi granični prijelaz Gorican — u gradnji**
 Granični prijelaz Gorican, u izgradnji na postojećoj magistralnoj cesti M-12, E-65, imat će suvremene promjene površine i objekte za državne granične službe i prateće sadržaje.
 I nakon izgradnje autoceste Budimpešta — Gorican — Varaždin — Zagreb — Rijeka taj će se prijelaz koristiti za carinjenje i kontrolu teretnog prometa, veterinarsku i sanitarnu inspekciju te za sav lokalni promet.
 projektna organizacija: MEDIMURJE INZENERING, Čakovec
 glavni projektant prometne površine: Stjepan Dominić, dipl. inž.
 glavni projektant arhitektonskih objekata: Armin Sovar, dipl. inž.
 konzalting: Medimurje inženjering, Čakovec
 investitor: Hrvatske ceste, Zagreb i Medimurje inženjering, Čakovec
 izgradnja objekata visokogradnje: Kombinat Medimurje, Čakovec
 izgradnja prometnica: Kompanija cesta, d.d., Varaždin

SADRŽAJ

ZNANSTVENI I STRUČNI RADovi

- 51 **Ekspertni sustavi**
 Zvonimir Zagar, Zagreb
- 61 **Kompiutorska tehnologija u suvremenoj evidenciji cesta**
 Robert Paj, Zagreb
- 65 **Cesta na melkom i nestabilnom tlu**
 stručni članak
 Nenad Grubić, Tomislav Ivšić, Zagreb
- 71 **Logistika i optimalizacija transporta**
 Husein Pašagić, Čedomir Ivaković, Zagreb
- 75 **Elektromobil u ekologiji i sutrasnjici**
 prethodno priopćenje
 Nada Strumberger, Husein Džanić, Zagreb

RUBRIKE

- 81 **Mišljenja i rasprave**
 Tranzitni promet u zoni stanovanja — kriterij najkraćeg puta (M. Gledec) iz Hirkovaca
- 82 **Ratne priče o gradovima i selima**
 83 Iz slavonskih sela
 84 Strahota bez imena
 85 Ljepota u zagrijaju smrti
 86 Od Beča do Kotora
- Iz povijesti**

Razlike između konvencionalnog i simboličkog programiranja

Table 1. Comparison of conventional and symbolic programming. Includes columns for 'Konvencionalni programi' and 'Simbolički programi' with various sub-categories.

Tablica predikatne logike

Truth table for predicate logic with columns X, Y, X AND Y, X OR Y, X impli Y, NOT X, X EQUI Y and rows of truth values T and F.

T = istinito, F = neistinito

Postoje i druge složenije relacije. Modul za učenje (LEARNING ili KNOWLEDGE ACQUISITION modul) i prezentacijom znanja bilan je za rasi, mogućnosti učenja i ekspanzije pravila tijekom korištenja sustava.

Za objašnjenje rada najvažnijeg dijela ES modula za zaključivanje (inference machine) s lančanjem unaprijed ili lančanjem unatrag, polazimo od seta pravila, kao što može biti set pravila (RULES), koja su pisana poznatim logičkim operatorima (IF, AND, OR, THEN (ako, i, ili, onda), XOR, EQ, NE, LE, GE, LT, GT, IN), i sl. Postoje i mogućnosti često i logički izrazi s pridruženim čimbenicima vjerovatnosti i operacijama s nesigurnostima, te korištenje fuzzy (neostrih) varijabla [34].

Za ilustraciju, polazimo od jednog potpuno jednostavnog i razumljivog seta od svega četiri pravila (rules):

- RULE1: IF A AND C THEN E
RULE2: IF B AND C AND D THEN E.
RULE3: IF A AND D THEN C.
RULE4: IF E THEN F.

gdje su A, B, C, ..., F neki pojmovi/izrazi/činjenice (facts), a koji se mogu općenito pisati kao:
RULE: IF (činjenica...1) AND (činjenica...2).....
AND (činjenica...n) THEN (zaključak).

Pritom zaključak može uputiti na određenu akciju, pozvati ne-ki program, ili programe, zatražiti podatke iz baze podataka (koji mogu biti i fizički udaljene i sl.), aktivirati neke drugog(-a) pravilo(-a) i sl.

Pokazat će se da to ujedno treba biti i pravilo pisanja bitno novih generacija i reprezentacija standarda [14, 20, 33, 36]. Ta se pravila mogu pisati s ljuskom (SHELL), oruđem (tools) za pisanje pravila, koje je i samo ekspertni sustav ili samo okruženje za ES (na primjer EMICIN (1970), KAS (1981), EXPERT (1984), RO-SIE (Rand Corporation, 1982), S.I. (jedna od najuspješnijih komercijalnih ljusaka), GURU (KNOWLEDGEMAN & SOLVEUR), PERSONAL CONSULTANT+, CHRISTAL, ADVISOR, EXP ADVISOR, EXPERT-EASE (1983), INSIGHT 2+, TG1, TG2 (Cognitech), ESP ADVISOR, Knowledge Craft, KAPPA, KEE, ART (1985), ESE (1986), M.I. (1984), Rule Master, Ops5, Ops6, Ops5+, Duck, KEE, Nexpert, TIMM-PC; i druge slične komercijalne ljuske, koje se mogu nabaviti na tržištu [8]. Primjerice, grupa s Carnegie sveučilišta (Pitsburgh, PA) vodio je sila (driving force) iza IMKA (inicijative za upravljanje ljudskom znanjima) koji je formiran prije kratkog vremena da kreira C++ standard za široku primjenu u ES. IMKA uključuje kompanije kao što su DEC, Ford Motor, Texas Instrument i US West. Carnegie grupa je nedavno otkrila svoju uključenost u IMKA tehnologiju nazvanu ROCK (Representation of Corporate Knowledge) i otkrila dogovor s još tri kompanije koje planiraju korištenje ROCK tehnologije u svojim proizvodima: AICORP će licencirati ROCK s KBMS alatima, Quintus će integrirati ROCK s Prologom na Logica Cambridge Ltd

Z. Žagar: EKSPERTNI SUSTAVI

kognitivni pristup. (Doño A. Bento et al., Portugal), "ESBE: hibridni objektivi orijentirani ES za optimizaciju konstrukcijskog lociranja" (F. Gehbauer et al., Njemačka), "CAD: ekspertni sustav za preliminarne dizajn zauzdatih mostova" (Chen Win, Kina), "Ekspertni sustav za prognozu rizika u vlaknom uredu za inženjerske konzultacije." (Shuyu Kan et al., Kina), "Upravljanje mostovima - ES pristup. (M. J. Sawaka et al., USA), "KBS s ugrađenom nejasnom logikom za rehabilitaciju starih mostova - ekspert u PC-u" (Chin-chun Lan et al., Taiwan), "Rehabilitacija starih mostova - ekspert u PC-u" (Suboth Kumar Jain, India), "Fuzzy neuralni ekspertni sustav za odabir metoda popravaka kolnika" (T. Hara et al., Japan), "Primjena ES za ocjenu konstrukcija" (R. Finkelstein, J. Afrika), "Otkrivanje strukturalnih oštećenja korištenjem umjetne inteligencije" (Dhen-Shiu Hsu et al., Kina), "Praktični istraživački ekspertni sustav za ocjenu stanja željezničkih mostova" (Kaifeng Zheng et al., Kina), "Ocjena strukturalnih oštećenja korištenjem neuralnih mreža." (F. Barancalone i suradnici, Italija).

Dakako, postoje i razvijaju se na komercijalnoj i/ili istraživač. koznastvenoj osnovi i razni drugi ES. Pa i naši ES za optimalni dizajn drvenih hala od lameliniranog drveta (Žagar, Petrić, Mijak) [39], zatim ES HALO [9, 10, 40, 41] za dizajn optimalnih 3D hala sastavljenih od lamelnih nosaca i čeličnih stupova (Delic, Žagar), kao i ES za klasifikaciju drvene građe (Žagar i Magerie) [27, 41], kao i za procjenu ratom oštećenih prizemnih stambenih objekata (Delic, Žagar) [42]. Te istraživački sustav za aktivnu regulaciju deformacija i unutarnjih napona, varijabilnim unosom energije (VUE) u mostovima s prolaznim opterećenjem (Žagar, Delic) [43] kvalificiraju se u u skupinu ES i KBS.

Ovdje se dakako nije mogao pobrojiti ni jedan dio toga golemog područja, ali se dala naslutiti njegova širina i već danas komercijalna raširenost u području graditeljstva, projekiranja, gradnje, održavanja i upravljanja prometnicama i objektima. Nije dakako bilo ni moguće dotaknuti područje primjene u raznim drugim aplikacijama, informacijskim znanostima, područjima aeronautike, raketne tehnike, općenito primjene u industriji (CAD, dijagnostička, inženjeringu), u financijskim poslovima i osiguranju, upravljanju poslovanjem i procesima, pravu i javnim poslovi-

ba, biotehnologiji i medicini [23], sportu i drugdje [3, 5, 22, 28, 29, 32, 36, 37]. ES u medicini i rudarstvu su napomenuti samo zbog njihova značenja za razvoj ES. Sa suradnicima iz Kliničko-bolničkog centra Rebro u Zagrebu (prof. dr. J. Hantecvić, dr. S. Davila) razvili smo i jedan pokusni savjetodavni dijagnostički ekspertni sustav za kirurgiju šake, kao pokušaj uvođenja ES u našu medicinu.

Postoje ES iz područja ekonomije, prava, meteorologije, strojarstva, kemije, medicine, farmacije, biologije, agronomije i geomehaničkog inženjeringa. ES se intenzivno koriste u vojnoj tehnološkoj, atomističkoj i drugdje. Čak i u gastronomiji!

Postoje uglavnom dvije vrste ES: jedni su utemeljeni na pravilima (rule based ES) i drugi utemeljeni na neuralnim mrežama (neural network ES). U potonjima se pokušava imitirati rad mozga na razini na kojoj se misli da funkcionira mozak. Postoje i hibridni sustavi, tzv. ekspertne mreže. Jaz među ta dva sustava uspjehno se premošćuje [11, 24, 26].

Ovdje se govori najprije o klasičnim ES utemeljenima na pravilima, dakle o tzv. rule based ekspertnim sustavima, a zatim informativno o neuralnim mrežama.

3. EKSPERTNI SUSTAVI UTEMELJENI NA PRAVILIMA

Najčešće se mogu opisati razlike između konvencionalnih programa i ekspertnih sustava, koji su, dakako, isto programi, ali programi posebnog tipa. Ključne razlike predočene su u tablici 1.

najnovije ES kao što su, SACCON za strukturalne konzultacije o načinu rješavanja strukturalnih problema. HLRIFE od Mahera i Fenvesa) je ES za dizajn pravokutnih stambenih i/ili uredskih višoskatnih zgrada, koji implementira PSRL jezik [2, 33]. Postoji i program za ocjenu dinamičkog čimbenika za cestovne mostove (HIBC - highway bridge impact consultant D.J. Bakera, C.D. Manolisa i S. Mohana) [nt. of Computing in CE, vol. 3, No.4, 1989 (348-365)] [4]. CDA je ES za dizajn sendvič-panela. SSPG (Adeli i Peak) je ES za dizajn čeličnih mostova s ukrućenjima, pisan u ELSP-u s implementacijama Rutgersovog programa, pisan u ELSP-u s implementacijama Rutgersovog programa, pisan u ELSP-u s implementacijama Rutgersovog programa, pisan u ELSP-u s implementacijama Rutgersovog programa... [1, 2] razvili BTEXPERT savjetodavni ES za odabir odgovarajućih, čeličnih krovih rešetaka. STEELX (autor Adeli) je ES za podobi dizajn okvirnih konstrukcija od čelika, uključujući i dizajn veza među elementima. BBEVPER (Adeli) je ES za dizajn čeličnih rešetkastih tipa Pratt, Parker, te "k" rešetaka s paralelnim i paraboličnim gornjim pojasevima cestovnih mostova. Taj je ES dobro opisan u knjizi Adelija i Balasubramanyama: Expert System for Structural Design - A New Generation [1, 2, 33]. Ciljevi niz ES predložen je u IABSE publikaciji o kolovozu u Bergamu [33]; opisani su ES za tuneliranje, za pisanje programa iz konačnih elemenata (KE) (D. R. Rehak, J. W. Baugh, USA), za automatsko arhitektonsko projektiranje zgrada (G. Schmitt, Švicarska), strukturalne analize složenih 3D okvirnih višekatnih konstrukcija zgrada (M. I. Maher), za dizajn mostova, za osposobljavanje amirano betoniranih mostova i općenito osposobljavanja objekata, za vrednovanje rizika zapaljivosti objekata, te mnogi drugi sustavi. AM/AD/ES je ES za vrednovanje zgrada oštećenih potresom [16, 17, 18, 30, 33]. Sličan je ali opsežniji ES za rehabilitaciju konstrukcija (razvijen u ICMES-u, Bergamo) [7]. WINDLOADER (Sharpe & Markšić) je ES za definiranje opterećenja vjetrovom (utemeljen na standardima opterećenja vjetrovom za Australiju) [33]. DELTA-CATS (General Electric) je ES za popravak lokomotiva. MAC-SYMA je ES za simboličnu matematiku. U Japanu se razvija ES za procjenu šteta na mostovima korišćenje se setom nejasnih produkcijskih pravila (H. Furuta, N. Shirais) [15], kao i ES za održavanje i rehabilitaciju betonskih mostova (A. Miyamoto, H. Kimura, A. Nishimura) [28]. Iz Japana dolazi i ES za odabir strukturalnog sustava mostova preko rijeke (T. Nishida, K. Maeda, K. Nomura), H. Osaka, T. Shinokawa, Y. Goto, T. Tsuruhara i suradnici razvijaju ES za projektiranje tunela i tuneliranja. Sada se i Austriji (Linzi) u sklopu GCI - geomehaničkog centra Linz (Sveučilište Innsbruck, Mayreder Consult, RISC, VOEST Alpine) osnivaju dvije odvojene grupe eksperata koje će formulirati ES za tuneliranje: (i) Numeričke analize mehaniziranja, tuneliranja, (ii) Kritične deformacije u tnelografinji. U Njemačkoj je operabilan i ES za obnovu betonskih konstrukcija (H. W. Reinhardt, M. Sohm). U NR Kini smatraju da treba poraditi na cijelom nizu ES koji će u toj mnogoljudnoj zemlji moći donijeti domenske ekspertize, zapravo pružiti stručnu ekspertnu pomoć malobrojnini kineskih eksperata. Stoga se i zaključilo da se sledice IAEB-SE kolokvija u ES odrzi u Pekingu 1993. godine. Zamijevaju se proliferirane teme toga kolokvija Knowledge-Based Systems in Civil Engineering, od kojih se pripominju neke, zanimljive za ovu diskusiju, implementacije ES u području prometa: "Automat-ma (L. Wang i suradnici), "Korištenje prostornih vrednovanijsnog rezoniranja u dizajnu kolodvorskih lokacija" (Wen Wei i suradnici), "Strojno učenje u sustavu školske ploče (blackboard system) za dizajn čeličnih konstrukcija" (K. B. Ali), "Sustav znanja za projektiranje pleskačkih mostova korištenjem grafičkog procesiranja" (Amin Hamad i suradnici, Japan), "Preliminarno projektiranje mostova na autocentraciji korištenjem KBS: (Per Löfqvist i suradnici, Švedska), "Razvoj i budućnost KBS za konceptualno projektiranje mostova" (C. J. Moore et al., Wales), "Neuralno mrežni kontroler za strukturalni dizajn" (Xia Liu et al., Kina), "Inteligentni CAD u projektiranju čeličnih konstrukcija: I.

Z. Žagar: EKSPERTNI SUSTAVI

ES utemeljenima na pravilima (rule based ES) može pretraživati baze pravila postupcima lančanja unaprijed (FORWARD CHAINING) i lančanja unatrag (BACKWARD CHAINING), a postoje i ostale djelotvorne rutine pretraživanja banaka podataka i banaka pravila: depth first, hill-climbing, best-first, branch-and-bound i sl. Logika zaključivanja temelji se na tablici glavnih istinitosti u međusobnim odnosima simbola.

Postoje i druge složenije relacije. Modul za učenje (LEARNING ili KNOWLEDGE ACQUISITION modul) i prezentacijom znanja bilan je za rasi, mogućnosti učenja i ekspanzije pravila tijekom korištenja sustava.

Za objašnjenje rada najvažnijeg dijela ES modula za zaključivanje (inference machine) s lančanjem unaprijed ili lančanjem unatrag, polazimo od seta pravila, kao što može biti set pravila (RULES), koja su pisana poznatim logičkim operatorima (IF, AND, OR, THEN (ako, i, ili, onda), XOR, EQ, NE, LE, GE, LT, GT, IN), i sl. Postoje i mogućnosti često i logički izrazi s pridruženim čimbenicima vjerovatnosti i operacijama s nesigurnostima, te korištenje fuzzy (neostrih) varijabla [34].

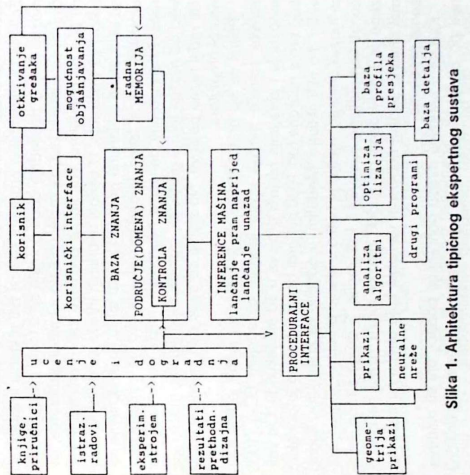
Za ilustraciju, polazimo od jednog potpuno jednostavnog i razumljivog seta od svega četiri pravila (rules):

- RULE1: IF A AND C THEN E
RULE2: IF B AND C AND D THEN E.
RULE3: IF A AND D THEN C.
RULE4: IF E THEN F.

gdje su A, B, C, ..., F neki pojmovi/izrazi/činjenice (facts), a koji se mogu općenito pisati kao:
RULE: IF (činjenica...1) AND (činjenica...2).....
AND (činjenica...n) THEN (zaključak).

Pritom zaključak može uputiti na određenu akciju, pozvati neki program, ili programe, zatražiti podatke iz baze podataka (koji mogu biti i fizički udaljene i sl.), aktivirati neke drugog(-a) pravilo(-a) i sl.

Pokazat će se da to ujedno treba biti i pravilo pisanja bitno novih generacija i reprezentacija standarda [14, 20, 33, 36]. Ta se pravila mogu pisati s ljuskom (SHELL), oruđem (tools) za pisanje pravila, koje je i samo ekspertni sustav ili samo okruženje za ES (na primjer EMICIN (1970), KAS (1981), EXPERT (1984), RO-SIE (Rand Corporation, 1982), S.I. (jedna od najuspješnijih komercijalnih ljusaka), GURU (KNOWLEDGEMAN & SOLVEUR), PERSONAL CONSULTANT+, CHRISTAL, ADVISOR, EXP ADVISOR, EXPERT-EASE (1983), INSIGHT 2+, TG1, TG2 (Cognitech), ESP ADVISOR, Knowledge Craft, KAPPA, KEE, ART (1985), ESE (1986), M.I. (1984), Rule Master, Ops5, Ops6, Ops5+, Duck, KEE, Nexpert, TIMM-PC; i druge slične komercijalne ljuske, koje se mogu nabaviti na tržištu [8]. Primjerice, grupa s Carnegie sveučilišta (Pitsburgh, PA) vodio je sila (driving force) iza IMKA (inicijative za upravljanje ljudskom znanjima) koji je formiran prije kratkog vremena da kreira C++ standard za široku primjenu u ES. IMKA uključuje kompanije kao što su DEC, Ford Motor, Texas Instrument i US West. Carnegie grupa je nedavno otkrila svoju uključenost u IMKA tehnologiju nazvanu ROCK (Representation of Corporate Knowledge) i otkrila dogovor s još tri kompanije koje planiraju korištenje ROCK tehnologije u svojim proizvodima: AICORP će licencirati ROCK s KBMS alatima, Quintus će integrirati ROCK s Prologom na Logica Cambridge Ltd



Slika 1. Arhitektura tipičnog ekspertnog sustava

(UK) što planira korištenje ROCK sustava u svojim budućim istraživanjima. To je samo mali pregled onoga što se trenutno događa u svijetu na području implementacije umjetne inteligencije i ES [6].

Inače, svako pravilo ima svoje referentno ime; općenito pravila mogu biti i vrlo složena, mogu sadržavati i razne logičke operatore, te vjerojatnosti određenih činjenica i zaključaka, varijabla, polja, opcije prioriteta, aritmetičke funkcije i izraze. Pravilo može sadržavati i objašnjenja, koja služe transparentnosti ekspertize [34]. Primjerice, takvo složeno pravilo može biti općenito oblika:

Rule 0202
IF: Materijal čelik
THEN IF: Promjena krutosti veća od 50%
THEN: Globalno oštećenje je razorno sa 0,8
ELSE IF: Promjena krutosti je manja od 50% i veća od 20%
THEN: Globalno oštećenje je ozbiljno s 0,8
ELSE IF: Promjena krutosti je manja od 20% i veća od 5%
THEN: Globalno oštećenje je umjereno s 0,8
ELSE IF: Promjena krutosti je manja od 5%
THEN: Globalno oštećenje je malo s 0,8
ELSE IF: Promjena krutosti je neznatna
THEN: Globalno oštećenje je nepoznato
ELSE: Globalno oštećenje je nepoznato

Ili, kao što je jedno od pravila iz ES za procjenu šteta na zgrada, konkretno u ekspertnom sustavu za procjene oštećenja zgrada (Delic, Žagar) [42], koristeći se ljudskom GURU [34], glasi:

GOAL: Procjena
RULE:
PRIORITY: 50
IF: NOT CIZELKAR AND KOLCRP (= 100
AND KOLORGOV (= 100
STETKROV =
KOLCRP/0,5 + KOLETVE*0,15 + KOL-
ROGOV*0,35
CIJEK*
KOLCRIP
KOLETVE
KOLORGOV
STETKROV
CHANGES: STETKROV
REASON: Ako krov nije cijeli (CIZLKR), plata se za kolčinu oštećenja cijepa (KOLCRIP), letava (KOLETVE) i rogova (KOLORGOV), pa se šteta na krovu procjenjuje za cijepove s 50%, letave s 15% i rogove s 33% ukupne cijene štete.

Tekst objašnjenja (reason) služi za transparentnost sustava, koja je osigurana i dobiva je korisnik upitima Why? ili How? ili nekim drugim implementiranim načinom pozivanja.

Na primjer, jedno pravilo u ES za razmatranje točnosti numeričkih proračuna s pomoću MKE, može u modulu za raštravanje mreže KE imati pravilo:

IF sharp gradients in stresses
THEN consider mesh refinement
Ako je gradient napona strm, onda razmotri proglašavanje mreže KE (i i sračunice) [1], za odabir odgovarajućeg opterećenja za dizajn mosta glase:

ll Bridge_location is 'State...road' and Traffic is 'Light'
Then AASHTO_live_load is 'H-15'
ll Bridge_locations is 'Trunk...Highway'
Then AASHTO_live_load is 'HS-15'

područja memorije, kao što je to u klasičnih konvencionalnih kompjuterskih programa. U tablici 2. navode se razlike između digitalnih kompjutora i neuralnih mreža [24, 35].

Digitalni kompjutori	Neuralne mreže
procesiraju se podaci koji su pisani u 1 i 0 za matematičku točnost	kontinuirano se procesiraju analogni signali u svim bogatstvima raznih nijansa
odluke se temelje na DAVNE koristi matematske i logičke funkcije i operatore	donose se izvagavane odluke na osnovi nekompletnih i fuzzy i kontradiktornih podataka
manipuliraju se podaci krotim redoslijedom tako da je kontrola uvijek moguća i rezultatni uvijek predvidivi	neovisno formulišu metode procesiranja podataka, s često iznenadjujućim rezultatima
daju se precizni odgovori na probleme predočene na kompjutoru	pronalaze dobre, brze ali neprecizne, približne odgovore na vrlo kompleksne probleme
probzi se kroz veliki broj podataka, kako bi se našli odgovarajući odgovori	streduju velike baze podataka za pronalaznje bliskih podobudnosti
pohranjuju se podaci na način da se mogu lako pronaći	pohranjuju informacije na način da svaki dio informacije automatski aktivira sve podatke u relaciji s tim podatkom

Neuralne mreže sastavljene su od procesorskih elemenata, neurona, koji su međusobno povezani preko informacijskih kabela [24, 25]. Svaki procesorski element može imati veliki broj ulaznih kanala, ali može imati samo jedan izlazni kanal. Ulazni su kanali pripodobivi vezama s vanjskim svijetom. Po načinu rada, sustav je blizak sustavu rada mozga, onako kako mi to danas sebi predodčavamo, na razini sadašnjih znanstvenih spoznaja. Planje je da li neuralne mreže baš trebaju imitirati rad neuronskih stanica mozga, ganglija, ili je sve to samo slučajna pojava. Istina je, neuralne mreže koriste se danas i za razjašnjavaње rada mozga [24].

Neuralne mreže datiraju još iz četrdesetih i pedesetih godina. Godine 1943. McCulloch i W. Pitt (A logical calculus for the ideas immanent in nervous activity) predložili su matematski model rada neurona [25]. Taj je problem u to doba bio nerješiv, zbog niske razvoja elektroničke. Godine 1969. prof. Marvin Minsky (MIT) isprva odusevljeni pristupa razvoju (PERCEPTION) u knjizi "The Perceptron" oštro je kritizirao taj trend razvoja i priklonio se von Neumannovoj logici razvoja kompjutora. Za neuralne mreže nastalo je tzv. "mračno doba". Mnogi su istraživači napustili to polje istraživanja. Ponovno rođenje dogodilo se tek 1982. kad je J. Hopfield prezentirao svoj "Hopfieldov model" u radu Nacionalne akademije znanosti SAD. Hopfieldov model utemeljen je na nelinearnom modelu asocijativne memorije. Temeljni Kohnenonov model bio je utemeljen na linearnom pristupu. Umjesto da pojednostavi funkcije realne neuralne mreže, S. Grossberg je pokušao stvoriti teoretski model koji objašnjava ponašanje neuralnih mreža. Ministarstvo obrane SAD bilo je sponzorom tih radova. Zapravo, nekoliko departmana armije SAD (armija, zrakoplovstvo, DARPA, svemirski štít) bili su financijeri istraživanja NM i, na ovaj ili onaj način, upleteni u razne primjene NM. Ta istraživanja nisu bila limitirana samo na području SAD. Nekoliko japanskih kompanija bavilo se tim područjem, a ona danas bujaju u Njemačkoj, Kanadi, Izraelu, Francuskoj, Italiji i Finskoj. U drugom izdanju knjige o perceptronu, M. Minsky i Papert (1988) ispričali su se za svoje krive procjene razvoja perceptrone, iako su i dalje ostali skeptičnima glede uspješnosti učenja povratnom propagacijom. U jednom intervjuu za New Yorker (u prosincu 1981), M. Minsky je izjavio da je bio iritiran Rosenblattovim izjavama i tvrdnjama (iznjeljem 1962. u Principles of Neurodynamics), kojima je uputio mnoge istraživače u krivom smjeru... Ipak je zanimljivo napomenuti da na IABSE konferenciji u ES u građevinarstvu (Bergamo, 1989) nije bilo niti jed-

nog referata o toj temi. O tome je bilo samo razgovora u kuloarima i nevezanim kontaktima.

Komercijalizacija NM započela je 1986. u TRW, predstavljajući Mark 3-I neuralnoga koprocesaora za VAX. Robert Hecht-Nielsen je vodeće ime u TRW Hecht-Nielsen Neurocomputer Corporation. Ta je kompanija predstavila ANZA neurokompjutor, koprocesor za IBM PC AT, 1987. Postoji niz kompanija koje danas proizvode neuročlupe za PC i neurokompjutor u kojima je omogućeno paralelno procesiranje podataka.

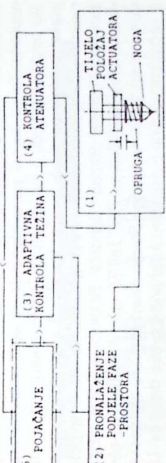
Godine 1987. Neuraltech proizveo je prvi komercijalni neuralni ekspertni sustav. Na tom području su poznata imena kompanija NESTOR (Providence, USA), MICRO DEVICES (Orlando, Florida), HECHT-NIELSEN NEUROCOMPUTERS (San Diego, Kalifornija), TRW (Berlin), SYNAPTICS, REVOLUTIONS RESEARCH, WARD (Frederic, Maryland), NORRAD, NET-Link i drugi [24].

Neka su postignuća zapanjujuća, pa ih se navodi. Na John Hopkins sveučilištu je T. Sejnowski razvio NETalk, neuralnu mrežu koju je naučio čitati, pisati i govoriti, a da za to nije pisao poseban program. Sustav uči preko pokušaja i pogrešaka i u razgovoru (komunikaciji) s učiteljem koji mu ispravja pogreške. Za nekoliko sati stroj je naučio umijeće razgovora na razini sedogodišnjeg djeteta.

Impresivan je i eksperiment Hecht-Nielsena koji je na tipični šalji američki način ostvario jednu ideju Bernard Widrowa s balansirajućim štapom-metlom (broomstick), a što je zapravo balansiranje obrnutoga klatna. Micro-Device je ostvario u verziji u miniaturnom stanju — za balansiranje olovke. Sustav uči sve dok se ne nauči balansirati štap u okomitom položaju. Jednako je impresivan pokus J. B. Collinsa i J. J. Hellertaja iz Centra za napredne studije elektronike, Sveučilišta u Philadelphiji, s jednogodišnjim skočecom (one legged hopping machine), koji ne samo da skače i balansira na jednoj nozi, već i pamti raspored namještaja i predmeta na podu.

Danas se neuralne mreže koriste za prognoziranje poslovanja na burzama, za raspoznavanje krijumčara u zračnim lukama (umjetni nos treniran na prepoznavanje opijata i droga), u banankstvu za verficiranje potpisa, u strojevanja za prepoznavanje postupaka, pa i u konvencionalnim FEM programima za nelinearne analize konstrukcija. Posebice se NM koriste u vojnim aplikacijama, za prepoznavanje ciljeva (u pametnim oružjima), za prepoznavanje podmornica (prema šumu propeleru) i sličnim aplikacijama. Postoje i automatski strojevi za pisanje, koji glas izravno pretvaraju u pisani tekst. To je spojeno s područjima istraživanja raspoznavanja glasa i sličnim problemima (voice recognition), koje KBE sustavi utemeljeni na pravilima teško svlađavaju [24].

Mi smo isto uspjeli NM trenirati u klasifikaciji drvene oble grade (kao sintezu vizualnog i strojnog postupka klasifikacije drveta), a i u prepoznavanju tipa oštećenja prizemnica oštećenih u ratu. Pokazali smo i to da se NM može koristiti za upravljanje



Sljka 2. Blok-dijagram adaptivnoga kontrolnoga sustava jednogodnog hoptea

(1) Jednogodi hoptea je stroj s jednom opruznom nogom i masivnim lijelom s aktuatorom prilagodljivim zasorom između lijele i noge. (2) Adaptivnim aktuatorom kontrolirano određivanje težina iz poznavanja faze-prostora (4) Kontrolna funkcija je sigmoidna funkcija težina tj. deltaX = deltaXmax * (h/(teziue)). (5) Pojacanje prethodne akcije ovisno je o posljednjem responsu sustava. Taj se blok nakon zadovoljavajućeg ponašanja može eliminirati.