

## VEŠTAČKA INTELIGENCIJA

### Istorijat

#### Šta je inteligencija?

*Inteligencija* je sposobnost razmišljanja, razumevanja i učenja korišćenjem instinkta, a u 21. veku i automatskih sistema, sa ciljem da se rešavaju problemi i donose odluke.

#### Da li kompjuteri mogu da budu inteligentni i da li mašine mogu da misle?

Odgovori na ova pitanja se nalaze u naučnoj (a i inženjerskoj) oblasti koja se zove VEŠTAČKA INTELIGENCIJA, čiji je razvojni put dat u sledećoj tabeli:

#### Ključni događaji istorijskog razvoja veštačke inteligencije

<i>Period</i>	<i>Ključni događaj</i>
Prapočetak (1937.), Manchester Univ. Velika Britanija	<i>Alan Turing</i> , Koncept univerzalne računarske mašine.
Početak (1943.), Columbia Univ. U.S.A.	<i>McCulloch, Walter Pitts</i> , Model veštačkih neuronskih mreža.
ENIAC-EDVAC kompjuteri (1941-1945.), Princeton Univ. U.S.A.	<i>John von Neumann</i> , Manhattan projekat nuklearne bombe.
Heuristički pristup u traženju rešenja (1950.), Princeton Univ. U.S.A.	<i>Claude Shannon</i> , Programiranje kompjutera za šahovsku igru.
Prvi neuro-kompjuter (1951.), Princeton Univ. U.S.A.	<i>Marvin Minsky, Dean Edmonds &amp; John von Neumann</i>
Letnja radionica (1956.), Dartmouth College U.S.A.	<i>John McCarthy, Marvin Minsky, Claude Shannon</i> , Mašinska inteligencija, veštačke neuronske mreže i teorija automata. Definisana oblast: <i>veštačka inteligencija</i> .
Period uzdizanja oblasti AI (1956.-1958.), MIT U.S.A.	<i>John McCarthy, LISP</i> – programski jezik. <b>Advice Taker</b> - program za generisanje rešenja problema, npr. transporta do aerodroma; prvi program baziran na prezentiranju znanja.
Razvoj veštačkih neuronskih mreža, (1960. – danas)	<i>Widrow, Hopfield, Kohonen, Rumelhart&amp;McClelland, Grossberg, Haykin, Kosko</i> , Paralelno distribuirano procesiranje signala.
Teorija <i>fuzzy</i> skupova (1965.–danas) Berkeley Univ. U.S.A.	<i>Lofti Zadeh, Mamdani, Sugeno, Kosko</i> , Fuzzy skupovi, logika i algoritmi.
Razvoj ekspertnih sistema (rane 1970. do sredine 1980.) Stanford Univ. U.S.A.	<i>Feigenbaum, Shortliffe, Leibowitz</i> , DENDRAL, <b>MYCIN</b> , EMYCIN, PROSPECTOR, <b>PROLOG</b> - programski jezik vešt. inteligencije.
Evolutivne strategije (rane 1970. – danas)	<i>Rechenberg, Holland, Koza, Schwefel, Fogel, Goldberg</i> , Genetički algoritmi i programiranje; Optimizirano pretraživanje.

## INTELIGENTNI SISTEMI I VEŠTAČKA INTELIGENCIJA

Inteligentni sistemi su bazirani na primeni veštačke inteligencije (VI), odnosno **mašinske inteligencije**, što znači da su sposobni da uče i da se adaptiraju u neodređenom ili delimično poznatom okruženju, odnosno da se ponašaju autonomno.

**Def.: Mašinsku inteligenciju** možemo definisati kao sposobnost emuliranja ili dupliranja mogućnosti senzorskog procesiranja i donošenja odluka unutar kompjuterskog sistema.

Inteligentni sistemi u proizvodnim tehnologijama podrazumevaju autonomno učenje i mogućnost adaptacije na neodređenosti u radnom okruženju, kako bi takav inteligentni tehnološki sistem mogao da odgovori na sve kompleksnije zadatke koji mu se u industrijskim uslovima nameću.

Neophodno je da **inteligentni tehnološki sistem** u sebi sadrži sledeća četiri elementa: *procesiranje senzorskih informacija, ocenjivanje stanja sistema, evolutivnost - empirijsko odlučivanje i generisanje autonomnog ponašanja*.

**Razvoj inteligentnih tehnoloških sistema** orijentisan na: *tehnološko prepoznavanje mašinskih delova, vizuelnu inspekciju i prepoznavanje objekata, autonomne mobilne robote, itd.*, podrazumeva da ovi sistemi rade u dinamičkim, nestacionarnim situacijama rasuđivanja i procesiranja senzorskih informacija i to najčešće u realnom vremenu.

Razvoj veštačke inteligencije je direktno uticao na inteligentne sisteme, počevši od razvoja sada već klasičnih *ekspertnih sistema*, najčešće preko pravila baziranih na indukciji, do tehnika *soft-computing\_a: fuzzy sistema, genetičkih algoritama i veštačkih neuronskih mreža*.

Današnji trend razvoja inteligentnih sistema pomera težište ka adaptivnom procesiranju informacija, kome prevashodno pripadaju *veštačke neuronske mreže*. U osnovi svih ovih inteligentnih formalizovanih metodologija se nalazi manja ili veća sposobnost sistema da uči.



Sedam ključnih oblasti razvoja i primene veštačke inteligencije su:

- **predstavljanje znanja**
- **razumevanje govornih jezika**
- **UČENJE – inteligentni robot, tehnološko prepoznavanje, ...**
- **planiranje – rešavanje problema**
- **donošenje odluka – zaključivanje**
- **ISTRAŽIVANJE OKRUŽENJA – autonomni mobilni robot**
- **SISTEMI PREPOZNAVANJA – kamera i analiza slike**

## UČENJE

**Klasifikacija strategija učenja** je pre svega zasnovana na stepenu zaključivanja koji se traži kod onog koji uči, a široko je prihvaćena sledeća podela na:

- rutinsko učenje,
- učenje na osnovu instrukcija,
- deduktivno učenje,
- induktivno učenje,
- učenje na osnovu analogije.

**Rutinsko učenje** je najniži nivo mašinskog učenja, kao i učenja uopšte. Ovaj vid učenja se svodi na znanje koje je direktno ugrađeno u inteligentni sistem, kroz programiranje ili kroz implementiranu jednostavnu bazu podataka. Nikakvo dodatno procesiranje ili transformacije podataka nisu potrebni da bi se sistem koristio, što praktično znači da se ovakvo učenje može poistovetiti sa "učenjem napamet" koje je prepoznatljivo kod čovekovog učenja.

**Učenje na osnovu instrukcija** je zasnovano na stečenom znanju od učitelja ili knjige, a transformisano je u interni oblik kroz zaključke koje mora da izvede učenik strogo držeći se datih instrukcija.

**Deduktivno učenje** podrazumeva da učenik ili sistem koji je podvrgnut učenju mora da izvrši transformaciju znanja deduktivnim zaključcima, i da kroz reformulaciju, kompilaciju i organizacione procedure dođe do istinite originalne formulacije.

**Induktivno učenje** se svodi na klasifikaciju stečenih iskustava u odgovarajuće kategorije ili koncepte i ima više kategorija, od kojih su najvažnije sledeće:

***Učenje kroz primere*** uključuje proces akvizicije, tako što se opisi opšteg koncepta zaključivanja, kroz skup primera dobijenih od učitelja, okruženja ili preko baze znanja samog učenika, prosleđuju učeniku.

***Učenje kroz eksperimentisanje*** koristi koncept koji je dovoljno generalan da može da objasni mnoge pozitivne primere, tako da ako je izvor primera okruženje, učenik mora da bude u mogućnosti da izvrši eksperimente od kojih će dobiti valjane odzive.

**Učenje na osnovu analogije** kombinuje deduktivne i induktivne vidove učenja. Prvi korak je vezan za induktivno zaključivanje, koje je neophodno da bi se našla zajednička podstruktura između domena problema koji se rešava i jednog od analognih domena koji su memorisani kao egzistirajuća baza znanja. Sledeći korak podrazumeva preslikavanje mogućeg rešenja iz selektovanog analognog domena u domen problema preko deduktivne logike.

## AUTONOMNOST ROBOTA

**Def.: Robot** je *reprogramabilni multifunkcionalni manipulator projektovan da pomera materijal, delove, alate ili specijalne uređaje korišćenjem različitih programa kretanja pri izvršavanju zadataka.*

**Ključno je:** *reprogramabilan i multifunkcionalan (fleksibilan).*

**Klasično:** Robot je mašina koja može da se reprogramira u funkciji novog zadatka i u stanju je da fleksibilno prilagodi svoju namenu novim zadacima.

**Moderno:** Robot je aktivan veštački sistem, čije je okruženje fizički svet sa kojim je u stalnoj interakciji, s obzirom da je *inteligentan*, a sve češće i *autonoman*.

**Autonoman robot** može da donosi samostalne odluke pri realizaciji zadatka, u ograničenom domenu, na osnovu upravljačke strategije bazirane na prethodnom učenju, korišćenjem povratnih veza koje ostvaruje pomoću signala od senzora.

Analogija sa prirodnim sistemima koji uče na osnovu sopstvenog iskustva podrazumeva da se veštačkom inteligentnom sistemu – autonomnom robotu obezbeđuje inicijalno znanje i spoznaja okruženja, sa mogućnošću učenja kroz evolutivnu nadgradnju servo-upravljanja, tako da se za autonoman robot može reći da je "svestan sebe i okruženja".

Robot možemo smatrati autonomnim samo ako donosi pravilne i pravovremene odluke o svojim akcijama u skladu sa realnim okruženjem, čija svojstva bitno utiču na interakciju sa autonomnim robotom, a to su:

- **Realno okruženje je *izvan ili na granici dostupnosti senzora*.** Senzori nisu dovoljno savršeni, tako da mogu izvršiti merenje i/ili percepciju u okruženju samo ako su dovoljno blizu.
- **Realno okruženje je *nedeterminističko*,** posmatrano kroz aspekt rada robota. To znači da robot mora da bude u stanju da radi u neuređenoj sredini.
- **Realno okruženje *nije epizodno*,** jer se efekti u njemu menjaju u toku vremena. Robot mora zato da rešava probleme sekvencijalno i da uči.
- **Realno okruženje je *dinamičko*.** Zato, robot bi trebalo da zna kada je potrebno odložiti odluku o nekoj akciji, a kada je bolje reagovati odmah.
- **Realno okruženje je *kontinualno*,** u pogledu stanja i akcija koja proizlaze od kontinualnosti fizičkih sistema i procesa. To uslovljava specifičan skup mogućih akcija, što podrazumeva razvoj posebnih upravljačkih algoritama za učenje robota. Retke su situacije u kojima je realno okruženje *diskretno*. Postoje samo mogućnosti da se kod jednostavnijih problema realno okruženje diskretizuje, kao što je slučaj sa digitalizovanom slikom dobijenom od kamere, gde se mogu odrediti diskretne vrednosti osvetljenosti objekata u sceni.

Dakle, autonoman robot bi, u interakciji sa realnim okruženjem, morao da ima realizovane sledeće sposobnosti: *manipulativnost, komunikativnost, lokomociju, senzitivnost i rasuđivanje*. Ove sposobnosti su evoluirale u proteklom periodu razvoja robota, što se vidi u tabeli.

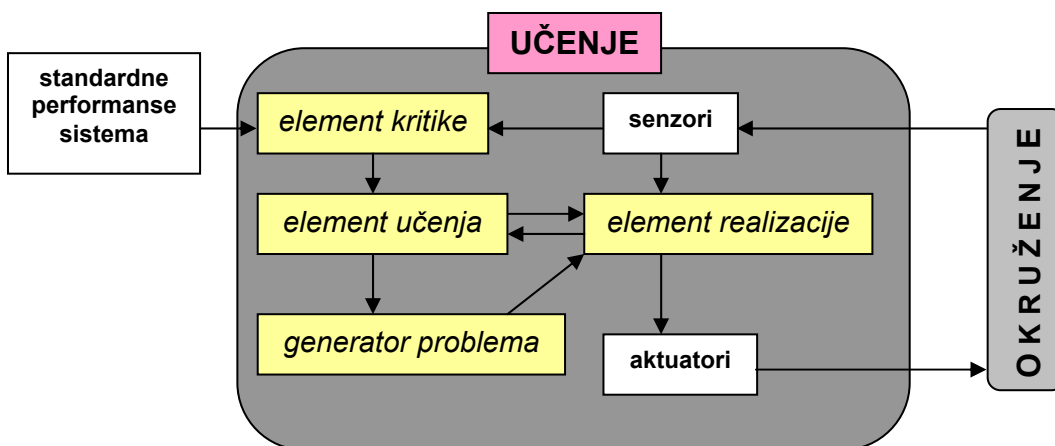
SPOSOBNOST	Pre 1990.	1990-tih	Posle 2000.
<b>Manipulativnost</b>			
Sa aspekta industrijskih alata	—————		
Sa aspekta antropomorfnosti	.....	—————	
<b>Komunikativnost</b>			
Jednosmerna (ka robotu)	—————		
Dvosmerna		.....	—————
<b>Lokomocija</b>			
Po šinama	—————		
Pomoću točkova	—————		
Po stazi	—————		
Pomoću nogu		.....	—————
<b>Senzitivnost</b>			
Kompjutersko gledanje		.....	—————
Zvuk		.....	—————
Taktilnost (dodir)		.....	—————
Miris,boja	—————		
<b>Rasuđivanje</b>			
Preko izolovanih činjenica	—————		
Preko baze podataka	.....	—————	
Preko baze znanja		.....	—————
Sopstvenim učenjem		.....	—————

..... početak primene  
 ————— široka primena

**Napomena:** Autonoman robot mora da ima definisan cilj, koji ostvaruje kroz stalnu interakciju sa okruženjem preko povratnih veza, uz punu odgovornost za realizovane akcije.

### UČENJE AUTONOMNOG ROBOTA

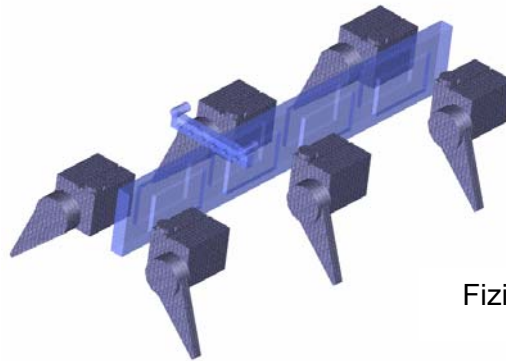
*Učenje predstavlja rezultat interakcija između onog ko uči i spoljašnjeg sveta-okruženja, a ostvaruje se na osnovu procesa odlučivanja o svakoj novoj akciji!!!*



Konceptijski elementi opšteg modela učenja

**Opšti model učenja** je baziran na sledećim konceptijskim elementima:

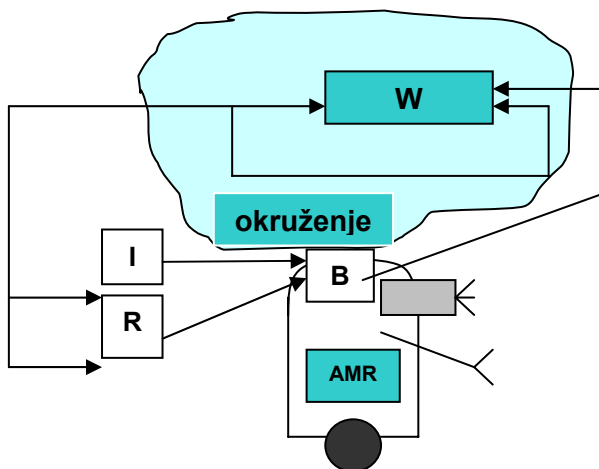
- **Element realizacije** je odgovoran za izbor eksternih akcija, a modifikuje se u cilju boljeg rešenja buduće realizacije, i to na osnovu znanja i povratnih veza koje pokazuju kako je **element učenja** realizovao prethodni nivo znanja.
- Povratne veze se dobijaju od **elementa kritike** koji koristi informacije o standardnim performansama sistema, kako bi, na osnovu senzorske informacije o prethodnoj realizaciji naučenog, uopšte došlo do modifikacije **elementa realizacije** kroz stalnu dvosmernu komunikaciju sa **elementom učenja** (promene  $\leftrightarrow$  znanje).
- **Generator problema**, na osnovu ciljeva učenja, ima zadatak da predloži nove akcije, slično onome što rade naučnici kada izvode svoje nove istraživačke eksperimente.



Fizički model insekt robota

**Primer:**

**Autonomni mobilni robot (AMR)** je arhetipski primer inteligentnog mehatronskog sistema, jer on organizuje sopstvenu internu strukturu i uči!



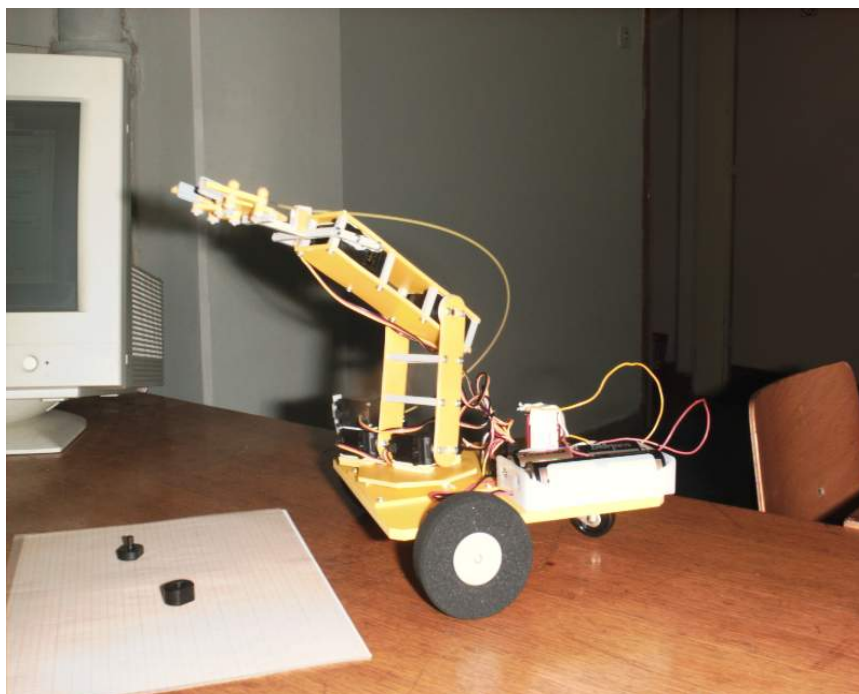
Interakcija AMR-a sa okruženjem

Modeliranje okruženja (primer sa slike) može da se realizuje kao deterministički konačni automat čija promena stanja zavisi od akcija **Autonomnog Mobilnog Robota** (AMR). Takođe je moguće formalizovati modeliranje okruženja kao trojku  $(S, Q, W)$ , gde je  $S$  skup mogućih stanja okruženja,  $Q$  je skup mogućih izlaza od AMR-a ka okruženju (ili akcija koje AMR treba da obavi) i  $W$  je funkcija prelaza, odnosno preslikavanje  $Q$  u  $S$ . Kada je u jednom trenutku stanje okruženja fiksirano, AMR se može modelirati kao četvorka  $(T, I, R, B)$ , gde je  $T$  skup mogućih ulaza od okruženja ka AMR,  $I$  je preslikavanje od  $S$  ka  $T$  koje određuje koji ulaz AMR prima od okruženja kada je ono u datom stanju,  $R$  je funkcija pojačanja AMR-a koje preslikava  $S$  u realne vrednosti, i konačno  $B$  je ponašanje AMR-a koje preslikava  $T$  u  $Q$ . Okruženje je u internom stanju ( $S$ ), koje utiče na ponašanje ( $B$ ) AMR-a pomoću ulazne funkcije  $I$  i funkcije pojačanja  $R$ , a rezultira akcijom AMR-a kroz odgovarajući izlaz. Taj izlaz sa starim izlaznim stanjem okruženja transformiše okruženje u novo stanje pomoću funkcije prelaza  $W$ , što znači da ovaj inteligentni sistem na taj način uči.

*Element realizacije* se sastoji od znanja i procedura koje autonoman robot poseduje pri izvršavanju zadatka istraživanja okruženja: prepoznavanje objekata, kretanje u svim pravcima, izbegavanje prepreka i slično. *Element učenja* formuliše ciljeve, kao što su učenje optimalne putanje kretanja, učenje mape okruženja, učenje o tome kako zaobići prepreku i kako izbeći koliziju sa drugim autonomnim mobilnim robotom. *Element kritike* obezbeđuje povratne informacije koristeći taktilne i vizuelne senzore, i formuliše pravila

koja treba da ukažu na pogrešnu akciju robota (npr. suprotan pravac kretanja robota), a *element realizacije* se modifikuje instaliranjem novog znanja, kroz dvosmernu interakciju sa *elementom učenja*. Povremeno, *generator problema* se aktivira sa predlogom: promeni rutu kretanja i prati ivicu prepreka ili zida i vidi da li je ta trajektorija kretanja kraća, odnosno efikasnija. Praktično, *element učenja* je odgovoran za poboljšanje *efikasnosti elementa realizacije*.

**Autonomni mobilni robot je arhetipski primer inteligentnog sistema**, jer on organizuje sopstvenu internu strukturu u cilju adekvatnog ostvarenja ciljeva u interakciji sa okruženjem. **Drugim rečima, on uči!**



**"Don Kihot"**



Autonomno ponašanje antropomornog mobilnog robota

## NOVI PRISTUP PROJEKTOVANJU TEHNOLOŠKIH PROCESA

Savremeni uslovi proizvodnje u domenu projektovanja tehnoloških procesa i upravljanja proizvodnjom zahtevaju fleksibilnost i prilagodljivost. Nove ideje podrazumevaju integraciju projektovanja tehnoloških procesa i planiranja i upravljanja proizvodnjom.

**Cilj razvoja i primene VI u domenu projektovanja tehnoloških procesa:** koncept integralnog sistema za projektovanje tehnoloških procesa i upravljanje proizvodnjom koji podrazumeva mogućnost direktnog preuzimanja projektnih informacija iz CAD sistema putem modula za tehnološko prepoznavanje, grubo i detaljno projektovanje tehnoloških procesa. Simulacioni sistem služi za modeliranje pogona i proveru generisanih tehnoloških postupaka u odnosu na raspoložive resurse i trenutnu situaciju u pogonu (FLEXY). Rezultati simulacije mogu da ukažu na potrebu za promenom tehnoloških postupaka u smislu izbora alternativnih mašina i promene redosleda obrade.

**Primena veštačkih neuronskih mreža** (u okviru ovog predmeta): implementacija ART-1 veštačke neuronske mreže u analizi geometrijske sličnosti osnosimetričnih cilindričnih delova, koja je neophodna u fazi grubog projektovanja tehnoloških procesa grupne tehnologije; implementacija veštačkih neuronskih mreža (BP, rekurentnih, itd.) pri tehnološkom prepoznavanju tipskih formi.

### Arhitektura sistema

Ključni elementi integralnog sistema za projektovanje tehnoloških procesa i upravljanje proizvodnjom su (slika dole):

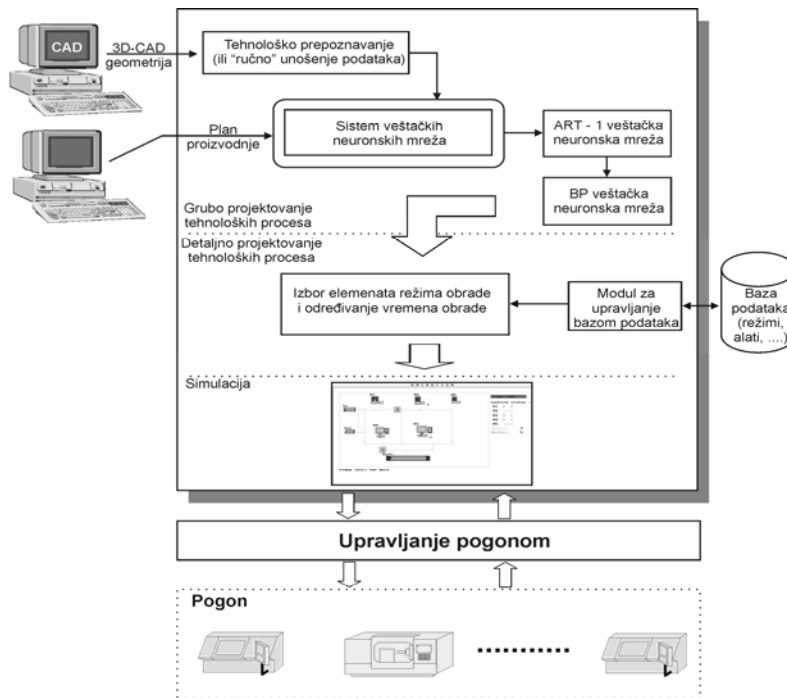
- modul za tehnološko prepoznavanje,
- modul za grubo projektovanje tehnoloških procesa,
- modul za detaljno projektovanje tehnoloških procesa,
- modul za upravljanje bazom podataka,
- modul za simulaciju

Osnovni ulaz za grubo projektovanje tehnoloških postupaka predstavljaju geometrijske i tehnološke informacije o delovima dopunjene podacima o porudžbinama i planu proizvodnje. Geometrijske i tehnološke informacije mogu se dati "ručno" ili se mogu direktno preuzeti iz CAD sistema putem odgovarajućeg modula za tehnološko prepoznavanje.

**Modul za grubo projektovanje tehnoloških procesa** obuhvata sistem tehnološkog prepoznavanja, sistem planiranja proizvodnje i sistem veštačkih neuronskih mreža. Sistem tehnološkog prepoznavanja izdvaja binarni vektor koji definiše tipske tehnološke sekvence za odgovarajući mašinski deo, na osnovu koga se obezbeđuje ulazna informacija za sistem veštačkih neuronskih mreža. Tako generisani binarni vektori, za sve mašinske delove koji su planom proizvodnje predviđeni da se obrade u pogonu, predstavljaju skup uzoraka za obučavanje ART-1 veštačke neuronske mreže, koja ima zadatak da identifikuje njihovu pre svega geometrijsku, a u značajnoj meri i tehnološku sličnost. Na osnovu stepena sličnosti izdvajaju se grupe delova koje imaju shodno tome i srodan tehnološki postupak. Kada su izdvojene grupe delova postupak grubog projektovanja tehnoloških procesa se nastavlja kroz učenje veštačke neuronske mreže sa prostiranjem greške unazad ("backpropagation" – BP mreža). Naime, ulazni skup uzoraka za obučavanje ove mreže je vezan za izdvojene grupe delova sa odgovarajućim binarnim vektorom generisanim iz ART-1 mreže. Izlazni sloj BP mreže, posle završenog procesa učenja, određuje redosled zahvata za svaku od izdvojenih grupa mašinskih delova.

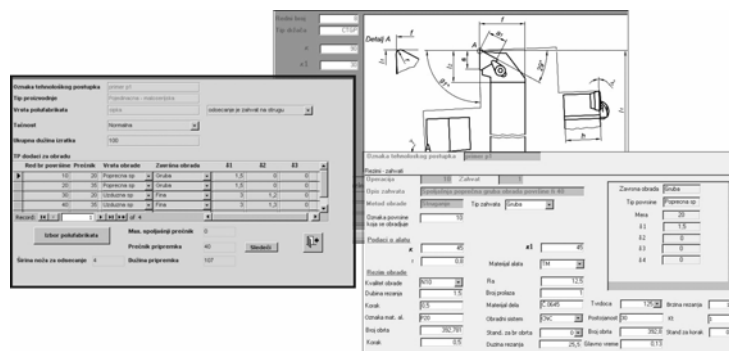


Modul za grubo projektovanje tehnoloških procesa ima zadatak da, korišćenjem veštačke inteligencije, odredi za svaku grupu, pa samim tim i za svaki mašinski deo unutar grupe, redosled obrade.



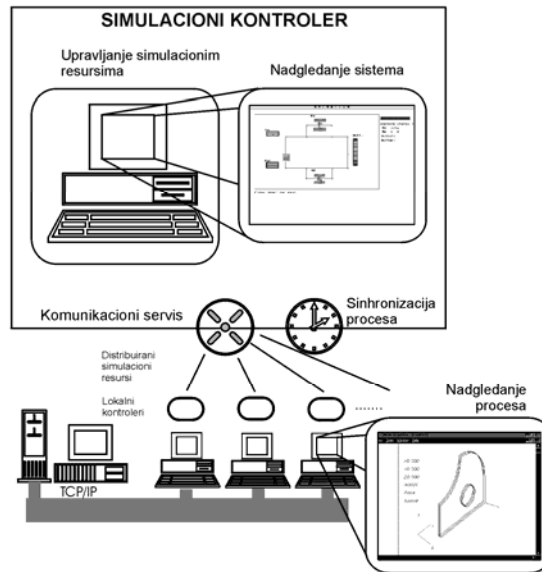
Arhitektura integralnog sistema za projektovanje tehnoloških procesa

**Modul za detaljno projektovanje tehnoloških procesa** vrši izbor režima obrade (korak, broj obrta, broj prolaza i glavno vreme obrade) za zahvate definisane u prethodnom modulu. Izbor režima se vrši iz tabela preporučenih režima preko modula za upravljanje bazom podataka:



Izbor elemenata režima obrade

Simulacioni sistem FLEXY za distribuiranu simulaciju tehnoloških sistema (slika dole) omogućava generisanje virtualnog pogona na osnovu podataka iz pogona i na osnovu generisanih tehnoloških postupaka. Sistem virtualno prihvata sve upravljačke varijante koje se mogu pojaviti pri obradi i daje analizu celokupnog tehnološkog procesa, kao i osnove za optimizaciju tehnoloških postupaka u skladu sa raspoloživim resursima u pogonu.



Sistem za distribuiranu simulaciju tehnoloških sistema

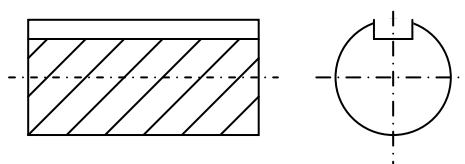
Prikazana arhitektura sistema doprinosi unapređenju informacione logistike u oblasti projektovanja tehnoloških procesa i upravljanja proizvodnjom i zasniva se na integraciji projektovanja tehnoloških procesa i upravljanja proizvodnjom kroz razvoj i primenu kooperativnih agenata.

U ranim fazama projektovanja tehnoloških procesa uzimaju se u obzir planovi proizvodnje, rokovi i podaci o kapacitetima, koji uz podršku znanja o projektovanju tehnoloških procesa predstavljaju osnovu za generisanje globalnog tehnološkog postupka (grubo projektovanje).

Fino planiranje i terminiranje zasniva se na akviziciji preporučenih režima obrade, podacima iz pogona i rezultatima distribuirane simulacije.

### Primer 1

Za jednostavni primer tipske tehnološke forme koji je u nastavku dat (slika dole), kao i za bilo koju drugu kompleksniju formu, treba reći da je veštačka neuronska mreža (slika u nastavku) tako projektovana da može da "čita" i interpretira 2D modele, na bazi prethodnog obučavanja za odgovarajuću klasu uzoraka. Bez obzira na različitost tipskih tehnoloških formi, postupak tehnološkog prepoznavanja, baziran na obučavanju veštačke neuronske mreže, istovetan je primeru koji je ovde dat. 2D modeli tipskih formi su predstavljeni  $n \times m$  matricama korišćenjem ASCII formata. Ivice koje ograničavaju tipsku formu su predstavljene 1-cama, a sve ostalo 0-ma, tako da se analizom svakog piksela 2D modela, poznatim tehnikama procesiranja (metoda konture – razmatraće se u okviru ovog kursa), može detektovati prisutnost ivice.



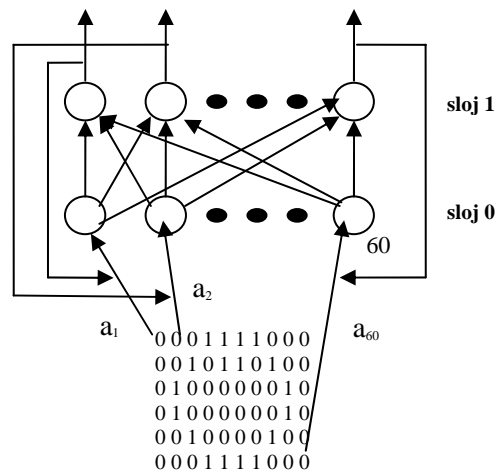
Primer tipske tehnološke forme

Procedura obučavanja rekurentne veštačke neuronske mreže (slika dole) je zasnovana na korigovanju greške učenja (izučavaće se u okviru ovog kursa), tako da se promena težinskih odnosa između neurona (za dati primer tipske tehnološke forme -žljeba neuronska mreža ima 60 neurona u ulaznom sloju) može predstaviti jednačinom:

$$\Delta w_{ij} = \alpha a_i^k d_j \quad (1)$$

U jednačini (1) su:  $\Delta w_{ij}$  - promena težinskog odnosa između  $i$ -tog i  $j$ -tog neurona;  $\alpha$  - pozitivni parametar učenja; dok je  $d_j$  željena vrednost  $j$ -tog neurona, odnosno izračunata vrednost istog neurona posle odgovarajućeg iterativnog koraka pri učenju neuronske mreže (iteracije traju dok razlika ne postane dovoljno mala), a koja se dobija korišćenjem sledeće jednačine:

$$d_j = a_j^k - \sum_{i=1}^n w_{ij} a_i \quad (2)$$



Rekurentna veštačka neuronska mreža za učenje tipskih tehnoloških formi