

—*Marija Putica*—

Filozofski fakultet Sveučilišta u Mostaru

UDK: 004.032.26

007.52

Pregledni članak

UMJETNE NEURONSKE MREŽE

Sažetak

U radu je autorica predstavila razvoj umjetnih neuronskih mreža i njihov značaj za izgradnju umjetne inteligencije. Predviđa se da će četrdesetih godina ovoga stoljeća strojna inteligencija doseći ljudsku. Predviđanja su temeljena na teoriji eksponencijalnog porasta proračunskih mogućnosti strojeva. U radu je predstavljen i motiv aktualiziranja ideje umjetnih neuronskih mreža. Predstavljena je i razlika između bioloških i umjetnih neuronskih mreža, kao i inherentne razlike između digitalnoga računala i ljudskoga mozga. Prikazani su struktura i funkcioniranje bioloških i umjetnih neurona te osobitosti neuronskih mreža naspram konvencionalnim načinima obrade podataka. Kompleksnije strukture ljudskoga mozga računala ne mogu simulirati pa se pri primjeni umjetne neuronske mreže konvencionalnim računalima ostaje u području u kojem konvencionalni stroj tek oponaša neuronsku mrežu kao visoko paralelnu arhitekturu. Navedenu mogućnost autorica je u radu suprotstavila virtualnoj inteligenciji, strojevima koji misle umjesto ljudi.

Ključne riječi: umjetne neuronske mreže; biološke neuronske mreže; umjetna inteligencija; digitalno računalo; ljudski mozak; biološki neuroni; umjetni neuroni; virtualna inteligencija

ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Abstract

The paper presents the development of artificial neural networks and their importance for the development of artificial intelligence. It is anticipated that machines will reach human intelligence by the 2040s. Predictions are based on the theory of exponential increase of estimating capabilities of machines. The paper also presents the motif of updating the ideas of artificial neural networks, the difference between biological and artificial neural networks as well as inherent differences between the digital computer and the human brain. It presents the structure and functioning of biological and artificial neurons, as well as the characteristics of neural networks, in

opposition to the conventional methods of data processing. Computers aren't able to stimulate the more complex structures of the human brain and therefore the conventional machine only mimics the neural network as a highly parallel architecture, while implementing conventional neural networks with conventional computers. The author opposed this possibility to virtual intelligence, machines that think instead of humans.

Keywords: artificial neural networks; biological neural networks; artificial intelligence; digital computer; human brain; biological neurons; artificial neurons; virtual intelligence

Uvod

Ideja o konstruiranju inteligentnih strojeva koji bi samostalno obavljali određene vrste poslova umjesto ljudi je stara, a sve što se do sada uspjelo napraviti su oblici umjetne inteligencije ograničeni na rješavanje određene vrste problema. Ne posjeduju razumijevanje ni vlastitu svijest iako se s razvojem umjetnih neuronskih mreža započelo daleke 1943. godine kada su Warren Sturgis McCulloch i Walter Pitts predstavili prvi model umjetnoga neurona koji je nastao istraživanjem neurofizioloških karakteristika živih bića. Umjetnu neuronsku mrežu često se opisuje kao umjetnu presliku ljudskoga mozga kojom se nastoji simulirati postupak učenja, iako je analogija s biološkim mozgom krajnje pojednostavljena. Fine strukture ljudskoga mozga još uvijek nisu modelirane umjetnim neuronskim mrežama dok se, s druge strane, pojedine karakteristike umjetnih neuronskih mreža ne slažu s biološkim neuronskim mrežama.

Do sada se rad na razvoju umjetne inteligencije odvijao sporo, s brojnim usponima i padovima i dvojmom oko toga je li inteligenciju uopće moguće reproducirati računalom. Alan Turing je sredinom prošloga stoljeća postavio temelje umjetnoj inteligenciji. John McCarthy, tvorac termina umjetna inteligencija i tvorac prvoga programskoga jezika umjetne inteligencije *Lisp*, težio je programiranju stroja koji će proći test koji je Alan Turing postavio. McCarthy svoje težnje nije ostvario, ali je upozorio da ljudi ne mogu naučiti strojeve razumijevanju jer još nisu spoznali vlastiti mehanizam razumijevanja, već razumijevaju instinktivno. Ideja neuronskih mreža odavno je poznata, ali procesna moć ondašnjih računala nije omogućavala njihovu primjenu. S

razvojem umjetnih neuronskih mreža javlja se neuronsko računalstvo kao alternativa računalima zasnovanima na Neumannovoj arhitekturi kako bi se, sukladno načinu obrade informacija koju obavlja mozak, simulirala paralelna obrada informacija. Ideju neuronskih mreža nedavno su aktualizirale velike IT korporacije. Riječ je o korporacijama kojima su društvene mreže u središtu zanimanja pa neuronske mreže na računalima raspoznaju osobe i predmete s fotografija koji su na njima objavljeni. Osim raspoznavanja vizualnoga, neuronske mreže identificiraju izgovorene riječi na androidima te *online* pozive prevode s jednoga jezika na drugi. U modeliranju različitih oblika ljudskoga ponašanja ove su mreže postigle određen uspjeh te su ohrabrine daljnja istraživanja uvjeravajući da predstavljaju cjelovitu teoriju o kognitivnu funkcioniranju.

1. Ideja o izgradnji neuronskih mreža

Računala umjesto ljudi obrađuju golemu količinu podataka, ali to je tek malen dio naspram onima koje se u svakome trenutku obrađuju u mozgovima svih živih bića. Stoga su istraživački projekti usmjereni na model kojim bi se mogla oponašati obrada podataka koja već milijune godina postoji u prirodi. Umjetna neuronska mreža (engl. *Artificial Neural Network* - ANN)¹ definira se kao model zaključivanja na temelju ljudskoga mozga jer on sadrži maksimum poznate inteligencije. Dražen Domijan² definira ih kao interdisciplinarno područje nastalo združenjem istraživačkih napora iz psihologije, neurobiologije, matematike i informatike. On tvrdi da je osnovni cilj toga povezivanja razumijevanje odnosa neuralne aktivnosti i kognitivnog funkcioniranja korištenjem matematičkih koncepata poput linearne algebre, diferencijalnih jednadžbi i dinamičkih sustava. Začetke nalazimo u matematičkom modelu neuronske mreže u okviru teorije automata koju su, istražujući neurofiziološke karakteristike živih bića, 1940. godine objavili istraživači Warren Strugis McCulloch i Walter Pitts³ s tehnološkog instituta u Massachusettsu (MIT). Bilo je to važno

¹ Usp. Christos STERGIU - Dimitrios SIGANOS, *Neural Networks*, <https://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol14/cs11/report.html>, (2. II. 2018.).

² Usp. Dražen DOMIJAN, *Uvod u neuronske mreže*, Zagreb, 2000., str. 101. – 127.

³ Usp. Warren MCCULLOCH – Walter PITTS, „A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity“, *Bulletin of Mathematical Biology*, god. LII., 1990., br. 1. – 2., str. 99. – 115.

otkriće, ali zbog slabe procesne moći tadašnjih računala primjena neuronskih mreža nije bila moguća. Člankom „Logički račun ideja svojstvenih nervnoj aktivnosti“, objavljenim 1943. godine, Warren Sturgis McCulloch i Walter Pitts postavili su temelje razvoju neuronskih mreža ukazujući na to da neuroni mogu imati dva stanja (pobuđujuće i umirujuće) i da njihova aktivnost ovisi o nekom pragu vrijednosti. Kibernetičar Norbert Wiener i matematičar John von Neumann smatrali su da bi istraživanja na području računalstva, inspirirana radom ljudskoga mozga, mogla biti izrazito zanimljiva. Nedugo nakon toga, 1949. godine, Donald Olding Hebb⁴ je u knjizi *Organization of Behavior* (*Organizacija ponašanja*) predložio pravilo kojim se opisuje proces učenja (njegovu se pravilo smatra prvim važnijim doprinosom razvoju teorije neuronskih mreža). U knjizi je razradio ideju o klasičnom psihološkom uvjetovanom učenju koje postoji kod svih životinja jer je svojstvo neurona. Ta je ideja bila poznata već otprije, ali ju je Hebb razradio predlažući određen zakon učenja za sinapse te je na tom temelju izgradio kvalitativno pojašnjenje nekih eksperimentalnih rezultata iz psihologije. Marvin Minsky je 1951. godine konstruirao neuroračunalo nazvano *Snark*. Godine 1956. Nathaniel Rochester sa skupinom autora na konferenciji *Dartmouth Summer Conference* predstavio je prvu simulaciju Hebbova modela koji je preteča modela neuronskih mreža. Dvije godine poslije, 1958., Frank Rosenblatt izumio je element sličan umjetnom neuronu te je razvio prvu dvoslojnu neuronsku mrežu istoga naziva – *perceptron*. To je računalo moglo uspješno ugađati težinske koeficijente, ali nije ostvario značajnije rezultate. Ubrzo su Frank Rosenblatt i Charles Wightman sa suradnicima razvili računalo imena *Mark I* koje se smatra prvim neuroračunalom. Slijedio je razvoj novoga tipa umjetnoga neurona ADALINE (ADAPTIVNI LINEARNI ELEMENT) koji je razvio Bernard Widrow sa svojim studentima među kojima je najpoznatiji Ted Hoff, tvorac mikroprocesora. Temelje za klasificiranje uzoraka putem umjetnih neuronskih mreža postavili su Bernard Widrow i Marcian Hoff kada su 1960. godine razvili pravilo učenja nazvano po njima (*Widrow-Hoff*). Pravilo omogućuje minimiziranje sume kvadrata odstupanja tijekom treniranja mreže, a za potrebe klasificiranja uzoraka. Godine 1969. objavljena je knjiga Marvinina Minskog i Seymoura Poperta u kojoj je

⁴ Usp. Nikola ŽALAC, *Neuronske mreže: jučer, danas, sutra*, Zagreb, 1997., str. 35. – 41.

izražena sumnja⁵ o mogućnosti ostvarenja većih potencijala „slojnih mreža“ u budućnosti, a godine 1974. razvijena je višeslojna perceptron mreža (engl. *Multilayer perceptron* – *MLP*). Istraživači su uglavnom bili usmjereni na razvoj *backpropagation* algoritma, a s interesom američke vojne agencije DARPA za neuronske mreže ponovno započinju značajnija ulaganja u ove projekte. Model koji omogućuje prepoznavanje uzoraka je 1980. razvio Kunihiko Fukushima. Riječ je o klasi arhitekture neuronskih mreža naziva *neocognitor*. Sposobnost mreže za rješavanje praktičnih problema, kao i aproksimiranje većine funkcija, postignuto je 1986. godine kada su David Rumelhart, Geoffrey Hinton i Stephen Williams usavršili *backpropagation* mrežu.

Bitna pitanja suvremenog svijeta mogu se svesti na pitanje hoće li računalo ostati sluga ili postati gospodar mozga. Rasprave i istraživanja rezultirala su pronalaženjem traga koji vodi k odgovoru, a to je daleka 1956. godina. Naime, tada su postumno objavljena predavanja jednoga od najvećih matematičara 20. stoljeća, tvorca arhitekture na kojoj se temelje sva računala, od PalmPilot organizatora do superračunala – Johna von Neumanna. Predavanja su objavljena u knjizi *Računalo i mozak*, a s njezinim nedavnim aktualiziranjem zaključeno je da je ona u računalnoj tehnologiji ono što je Darwinova knjiga *Porijeklo vrsta* u biologiji. Predviđa se da će njegova arhitektura računala na budućnost utjecati jednako kao što su mehanika Isaaca Newtona i elektromagnetizam Jamesa Maxwella utjecale do sada. U prvom dijelu knjige predstavljena je arhitektura računala, a u drugom je dijelu predstavio biološki mozak kao obrise nove paradigme koja dijelom objašnjava moderan svijet. Pokušao je dati uravnoteženu procjenu mogućih računskih aktivnosti mozga promatrajući ih kroz prizmu računalne teorije (teorije stvaranja elemenata bilo koje funkcije koja se može izračunati) i tehnologije te eksperimentalne neurologije svoga doba. U predgovoru knjizi Paul i Patricia Churchland, govoreći o empirijskoj neurologiji, naglašavaju takvu kompliciranost i zanimljivost jer su neke neurološke discipline (neuroanatomija, neuropsihologija, razvojna neurobiologija i kognitivna neurobiologija) i same ostvarile fenomenalan napredak. Mozak se sastoji od gusto povezanog zbroya živčanih stanica ili osnovnih jedinica za obradu podataka. Te se stanice nazivaju neuroni. Zahvaljujući brojnim suvremenim eksperimentalnim tehnikama (primjerice elektronskoj i konfo-

⁵ Usp. N. ŽALAC, *n. dj.*

lanoj mikroskopiji, mikroelektrodama, elektro i magnetoencefalografiji, kao i CAT, PET i MRI skeniranju), do danas smo stekli znatno bolju sliku o finoj vlaknastoj građi (mikrostrukтури) mozga, elektrokemijskom ponašanju njegovih mikroskopskih dijelova, kao i o njegovu općem funkcioniranju u raznim vidovima svjesne kognicije.⁶ Sve donedavno te su dvije srodne discipline, od kojih je jedna usmjerena na umjetne, a druga na prirodne kognitivne procese, išle svojim putovima izolirane jedna od druge. Taj je put započeo sredinom dvadesetoga stoljeća i trajao je donedavno ostvarujući pritom visok napredak u svojoj oblasti ne dajući nikakav doprinos drugoj srodnoj znanosti. John von Neumann zaključio je da mozak funkcionira digitalno i da veze među neuronima nemaju Booleovu logiku (dvije dolazne i jedna izlazna linija), nego čak po nekoliko tisuća ulaznih linija iz drugih neurona, a samo jedan izlaz.

Vjerovalo se da biološki mozak posjeduje tjelesnu organizaciju i računalnu strategiju bitno različitu od Neumannove arhitekture kakvu nalazimo u standardnim računalnim strojevima. To je pitanje postalo predmetom žestokih rasprava. Mozak krije brojne zagonetke, a novija istraživanja u konačnici kriju moguća iznenađenja. Tvorac termina umjetna inteligencija i tvorac prvoga programskoga jezika umjetne inteligencije upozorio je da ljudi još nisu naučili razumijevati. Rečenicom da o procesima ljudskoga razmišljanja znamo isto koliko riba zna o plivanju u stvari je upozorio da ljudi ne poznaju vlastiti mehanizam razumijevanja, nego razumijevaju instinktivno. Različiti oblici umjetne inteligencije do danas se nisu mogli primijeniti jer spoznaja o tome na koji način mozak izvodi svoje čudesne aktivnosti još nije dosegnuta.

2. Biološki i umjetni neuron

Još nije jasno kojim putem treba ići u izgradnji umjetne inteligencije. Dosašnji put ignorirao je biološki mozak zbog njegovih ograničenja u brzini i pouzdanosti zbog čega se usmjeravalo na elektroničke sustave. U posljednje se vrijeme ističu prednosti računalne organizacije koja postoji u mozgu riba, kukaca, ptica ili sisavaca, ali još nije jasno ustanovljeno po čemu se takva organizacija razlikuje od organizacije u računalnim strojevima. John von Neumann je 1958. istaknuo važnost činjenice da u središnjem živčanom sustavu

⁶ Vidi John von NEUMANN, *Računalo i mozak*, Zagreb, 2006.

postoje različite logičke strukture u odnosu na one koje čovjek koristi u logici i matematici.

U knjizi *Računalo i mozak* John von Neumann je, govoreći o mozgu, zaključio da je njegovo funkcioniranje digitalno te da mozak ima prostornu prednost jer su njegovi neuroni 10^2 puta manji od elektroničkoga ekvivalenta. Neumann je naglasio sporost brzine rada pri rješavanju temeljnih logičkih aktivnosti neurona biološkog mozga za oko 10^5 ili čak 10^7 u usporedbi s elektroničkim ekvivalentom. Naglasio je kako računala lako rade s veličinama iskazanima s čak dvanaest decimalnih mjesta dok se pretpostavlja da je oblik prikazivanja podataka u neuronu, određen frekvencijom niza maksimuma koje šalje niz akson, ograničen točnošću od najviše dva decimalna mjesta. Dalje upozorava na problem koji se javlja kod računanja u koje je uključen veći broj koraka gdje se male pogriješke iz ranih faza akumuliraju u velike pogriješke u završnim fazama računanja. Tako se i sitne pogriješke iz ranih faza eksponencijalno uvećavaju, što rezultira drastično netočnim rezultatom. Računski režim rada mozga Neumann je nazvao *minimalnom logičkom dubinom*. Neuronska aktivnost mozga je spora i nije osposobljena za susljedno izvođenje velikoga broja sekvencijski orkestriranih računskih koraka, kako to čini središnji procesor digitalnog stroja. Nedvojbeno je da se mozak, s obzirom na brzinu i točnost u usporedbi s računalnim strojem, odlikuje ozbiljnim nedostatkom logičke dubine. Neumann naglašava da taj nedostatak mozak nadoknađuje iskorištavanjem svoje izvanredne logičke širine.

Ljudski mozak sadrži približno deset milijardi neurona i šezdeset bilijuna sinapsi, tj. veza između njih. Razlikuje se više od stotinu vrsta neurona koji su prema svojoj funkciji raspoređeni prema točno definiranu rasporedu.⁷ Neuroni mogu stvoriti nove veze s drugim neuronima, čak se i čitave kolekcije neurona mogu seliti s jednoga mjesta na drugo. Svaki je neuron u prosjeku povezan s 10^4 drugih neurona. Neuron se sastoji od tijela stanice ili soma, vlakana nazvanih dendriti i jednog dužeg vlakna, aksona. Dendriti se granaju u mreži oko soma, akson se proteže na dendritima i somama drugih neurona. Signali se elektrokemijskim reakcijama prenose iz jednoga u drugi neuron. Tako 10^{14} sinaptičkih veza modulira dolazeći aksonski signal i predaje ga prijamnome neuronu koji ih zbira, odnosno integrira sve dolazne signa-

⁷ Vidi D. DOMIJAN, *n. dj.*

le sinaptičkih veza kojih u jednoj stanici može biti i deset tisuća. Kemijske tvari koje se ispuštaju iz sinapsi izazivaju promjenu električnoga potencijala tijela stanica. Kada taj potencijal dosegne prag, električni impuls šalje akcijski potencijal preko aksona.⁸ Kada puls dođe do sinapse, on utječe na njezin potencijal smanjujući ga ili povećavajući. Plastičnost mozga omogućuje jačanje veza između neurona koji dovode do „pravog odgovora“ dok oni koji vode do „pogrješnog odgovora“ slabe pa su neuronske mreže sposobne stjecati znanja na temelju iskustva. Na temelju opisana procesa stvara se aksonski izlazni signal, a sva se sitna modulirajuća djelovanja odvijaju istodobno. SturGIS McCulloch i Walter Pitts stvorili su model koji oponaša funkcionalnost biološkoga neurona (*Threshold Logic Unit - TLU*) koji koristi sljedeću analogiju:⁹ signali su opisani numeričkim iznosom i na ulazu u neuron množe se težinskim faktorom koji opisuje jakost sinapse; signali pomnoženi težinskim faktorima sumiraju se analogno sumiranju potencijala u tijelu stanice; ako je dobiveni iznos iznad definirana praga, neuron daje izlazni signal. Istodobnim korištenjem više neurona mozak svoje funkcije obavlja puno brže od bilo kojeg dosad napravljenog računala.¹⁰ Za odvijanje cjelovita procesa obrade podataka važno je što se podatci pohranjuju i obrađuju u neuronske mreže istodobno kroz cijelu mrežu, a ne na pojedinim lokacijama.

I kod umjetnih neuronskih mreža neuroni su povezani vezama od kojih svaka ima svoju numeričku težinu. Težine u umjetnim neuronskim mrežama služe dugoročnu pamćenju. Kroz ponovljene prilagodbe tih težina umjetna neuronska mreža „uči“ jer težine izražavaju snagu, odnosno važnost za svaki ulaz neurona.¹¹ Temeljne pojmove bioloških neuronskih mreža i umjetnih neuronskih mreža mogli bismo predstaviti njihovom usporedbom. Ono što je soma u biološkoj neuronskoj mreži, to je neuron u umjetnoj neuronskoj mreži. Dendriti iz biološke neuronske mreže u umjetnoj bi neuronskoj mreži bili ulaz, a akson iz biološke bio bi izlaz u umjetnoj neuronskoj mreži. Ono

⁸ Usp. Daniel SHIFFMAN, *The Nature of Code*, <<https://www.natureofcode.com>>, (2. II. 2018.).

⁹ Usp. Bojana DALBELO-BAŠIĆ – Mario ČUPIĆ – Jan ŠNAJDER, *Umjetne neuronske mreže*, <<https://materijali.fer2.net/search.aspx?query=neuronske+mreze>>, (4. XII. 2017.).

¹⁰ Usp. J. S. Srinivas RAJU - Satish KUMAR - L. V. S. S. Sai SNEHA, „Realization of Logic Gates Using McCulloch-Pitts Neuron Model“, *International Journal of Engineering Trends and Technology*, god. XLV., 2017., br. 2., <<https://www.ijettjournal.org/2017/volume-45/number-2/IJETT-V45P212.pdf>>, (1. XII. 2017.).

¹¹ Usp. Ila FIETE - Sebastian SEUNG, „Neural Network models of birdsong production learning and coding“, Larry SQUIRE i dr. (ur.), *New Encyclopedia of Neuroscience*, Elsevier, 2007.

što su sinapse u biološkoj neuronskoj mreži, to su težine u umjetnoj neuronskoj mreži.

Uz pretpostavku da su sinapse malena pojačala, da su neuroni sitni zbrajači s izlaznom funkcijom sigma te da je informacija kodirana isključivo u obliku frekvencije neuronskih maksimuma, stvorene su male umjetne neuronske mreže koje pokazuju određen stupanj „kognitivnog“. Te su mreže građene po uzoru na mozak, odnosno po uzoru na ono što ljudi misle da o njemu znaju. Umjetna neuronska mreža sastoji se od nekoliko vrlo jednostavnih i međusobno povezanih procesora koji se nazivaju neuroni. Oni su analogni biološkim neuronima u mozgu, a povezani su vezama čiji signali prelaze s jednoga neurona na drugi. Pritom svaki neuron prima određen broj ulaznih signala putem svojih veza, ali uvijek ima samo jedan izlazni signal koji se prenosi preko neurona izlaznoga spoja koji nalikuje biološkomu aksonu. Odlazna se veza dijeli na grane čiji su krajevi priključci za druge neurone u mreži.

Nastavak neuroloških istraživanja može pokazati da su današnja vjerovanja netočna. Danas se zna da se informacija u akson može ukodirati na različite načine, da se na više načina može modulirati u sinapsi te se na više načina mogu združiti unutar neurona. Za razvoj umjetnih neuronskih mreža važno je otkriće da biološki mozak pokazuje plastičnost. Naime, neuroni pokazuju dugoročne promjene u snazi svojih veza, a sve to kao odgovor na simulacijski uzorak.

Kod usporedbe mozga i računala¹² važno je imati u vidu da se svaka sinapsa u sekundi aktivira približno stotinu puta pa ukupan broj osnovnih operacija obrade informacija u mozgu iznosi približno 10^{16} operacija u sekundi. Imajući u vidu činjenicu da današnja osobna računala dosežu tek 10^9 operacija u sekundi, vidimo nadmoć mozga kao stroja koji je obdaren velikom sposobnošću paralelne obrade podataka. John von Neumann ove je tvrdnje napisao sredinom dvadesetoga stoljeća, a moderna znanost, neurologija i računalno modeliranje paralelnih mreža potvrdili su njegove zaključke. Međutim, znanost još nije jasno potvrdila ima li mozak analogni ili digitalni rad. Mozak se promatra kao složen, nelinearan i paralelan sustav obrade podataka.

Računalo je korišteno za obradu podataka, ali samo čovjek ima sposobnosti koje se ogledaju u sposobnosti odabira ispravnih hipoteza te pokretanja i

¹² Usp. Anders BRAHME, (ur.), *Comprehensive biomedical Physics*, Berkeley, 2014.

vođenja iskustava temeljenih na logičkim pravilima. Mukotrpan rad na stvaranju umjetne inteligencije rezultirao je značajnijim otkrićem tek sa spoznajom kako sinaptičke veze velikom brzinom obavljaju računske transformacije ulaznih signala. Rješenje se, dakle, vidi u odbacivanju standardne Neumannove arhitekture koju će zamijeniti obrazac nalik radu mozga – velika paralelna mreža umjetnih neurona, odnosno elektronička verzija *plitkog*, ali iznimno širokog računskog režima. Neumannova arhitektura računala temeljena je na sekvencijalnoj obradi podataka, a ona nije nalik strukturi i načinu funkcioniranja mozga. Kod primjene umjetne neuronske mreže na računalima tradicionalne Neumannove arhitekture, probleme nije moguće rješavati putem algoritama. Nemogućnost manipuliranja simbolima po definiranim pravilima sekvencijalnom stroju dopušta tek oponašanje neuronske mreže kao visoko paralelne arhitekture. Bojana Dalbelo-Bašić i suradnici¹³ kao bitne karakteristike tih paradigmi navode:

John von Neumann	Neuronska mreža
računalu se unaprijed detaljno mora opisati algoritam u točnu slijedu koraka (program)	neuronska mreža uči samostalno ili uz pomoć učitelja
podatci moraju biti precizni – nejasni ili neizraziti podatci ne obrađuju se adekvatno	podatci ne moraju biti precizni (gotovo su uvijek neprecizni)
arhitektura je osjetljiva – uništenjem nekoliko memorijskih ćelija računalu ne funkcionira	obrađa i rezultat ne mora puno ovisiti o pojedinačnom elementu mreže
postoji eksplicitna veza između semantičkih objekata (varijabli, brojeva, zapisa u bazi...) i sklopovlja računala preko pokazivača na memoriju	pohranjeno znanje je implicitno, ali ga je teško interpretirati

Tvrđnja da su današnje neuronske mreže nalik onima koje se priželjkuje uspoređuje se s papirnim zrakoplovom u usporedbi sa supersoničnim. Nedavna simulacija moždane aktivnosti pokazala je da su računala još uvijek daleko od simuliranja mozga u realnu vremenu. Njegovih 82.944 procesora simulira jednu sekundu interakcije između 1,73 milijarde virtualnih neurona povezanih kroz 10,4 bilijuna sinapsi, što je otprilike 1 % broja neurona koji se nalaze u pravom ljudskom mozgu. Za simulaciju jedne sekunde aktivnosti mozga računalu je potrebno četrdeset sekundi. Predviđa se, prema Mooreovu zakonu po kojem se procesorska snaga udvostručuje svake dvije godine, da će eksaskalarna računala 2032. godine biti u stanju simulirati cijeli mozak na razini neurona i sinapsi.

¹³ Usp. B. DALBELO-BAŠIĆ – M. ČUPIC – J. ŠNAJDER, *n. dj.*

3. Primjena neuronskih mreža

Mreža umjetnih neurona može imati 10^6 puta veću brzinu rada od biološkog mozga. S obzirom na činjenicu da je izgrađen od elektroničkih, a ne od biokemijskih dijelova, kako u predgovoru knjizi *Računalo i mozak* primjećuju Paul i Patricia Churchland¹⁴, takav bi elektronički duplikat našeg mozga, s jednakim brojem sinapsa, mogao za samo trideset sekundi obaviti misaoni proces za koji bi biološkim komponentama u našoj glavi trebala čitava godina dana. Na zanimljivu budućnost umjetne inteligencije Paul i Patricia Churchland upućuju usporedbom kako bi stroj za pola sata mogao proživjeti intelektualni život na koji mozak potroši 75 godina.

Umjetne neuronske mreže (*Artificial Neural Network – ANN*) sastoje se od zbira umjetnih neurona. Umjetni neuroni najčešće su međusobno povezani apstraktni pojmovi koji obradom operacija postaju interaktivni. Razlikujemo više vrsta umjetnih neuronskih mreža, a sve su dizajnirane po uzoru na ljudski mozak. Najčešće vrste su:

- Multilayer perceptron – MLP
- Self-Organizing Maps – SOM
- Hopfieldova neuronska mreža.

Neuronska mreža može se dvojako realizirati: na softverski i na hardverski način.¹⁵ Kod hardverske realizacije neuroni se realiziraju kao jednostavni integrirani krugovi. Međusobno su povezani po ugledu na povezanost bioloških neurona. Kod softverske realizacije neuronske se mreže obično simuliraju na tradicionalnim računalima kod kojih je veza među čvorovima logička, odnosno virtualna.

Danas su umjetne neuronske mreže nezaobilazan koncept pri izgradnji inteligentnih sustava. Uglavnom se primjenjuju kod utvrđivanja među podacima koji nisu u linearnoj vezi, a mogu biti dijelom složenog ulaznoga skupa. Najpogodnijim rješenjem pokazale su se kod nemogućnosti obrade podataka linearnom vezom, odnosno strukturiranim algoritmom. Velibor Ilić¹⁶ navodi da sinapse, kojima biološki neuroni reguliraju prohodnost određene putanje

¹⁴ Usp. J. von NEUMANN, *n. dj.*

¹⁵ Usp. Velibor ILIĆ, *Neuronske mreže*, <<https://www.solair.eunet.rs>>, (11. III. 2018.).

¹⁶ Usp. V. ILIĆ, *n. dj.*

između aksona i dendrita, kod umjetnih se neurona ostvaruju preko težinskih koeficijenata ili težina veza.

Neuroni na skrivenim i izlaznim slojevima pored težinskih koeficijenata koriste i koeficijent *threshold* u računanju mrežnih ulaznih vrijednosti s tim da ga se može tretirati i kao dodatni težinski koeficijent na ulazu koji ima konstantnu težinu jedan. Koriste se kod raspoznavanja uzoraka, obradi slike i zvuka, obradi nepreciznih i nepotpunih podataka, kod simulacije i sl. Pouzdani su kod rješavanja svih problema kod kojih postoji odnos između ulaznih i izlaznih varijabli. Najčešće korišten algoritam za obučavanje umjetnih neuronskih mreža je backpropagation koji uči sheme uspoređujući izlaz neuronske mreže sa željenim izlazom računajući pogriješke ponaosob za svaki čvor na mreži. Zatim usklađuje težine veza prema vrijednostima pogriješke dodijeljene svakom čvoru posebno. Izračunavanje se radi od izlaznog sloja do ulaznog, a preko skrivenih slojeva. Parametri se modificiraju te se na mrežu dovode novi ulazi kako bi mreža mogla dati izlaze sa zadovoljavajućom točnošću. Dalbelo-Bašić i suradnici među osobitostima neuronskih mreža naspram konvencionalnih (simboličkih) načina obrade podataka izdvajaju sljedeće:

- vrlo su dobre u procjeni nelinearnih odnosa uzoraka
- mogu raditi s nejasnim ili manjkavim podacima, tipičnima za podatke iz različitih senzora, poput kamera ili mikrofona, i u njima raspoznati uzorke
- robusne su na pogriješke u podacima, za razliku od konvencionalnih metoda koje pretpostavljaju normalnu raspodjelu obilježja u ulaznim podacima
- stvaraju vlastite odnose između podataka koji nisu zadani eksplicitno simbolima
- mogu raditi s velikim brojem varijabli i parametara
- prilagodljive su okolini
- moguća je jednostavna VLSI¹⁷ primjena
- sposobne su formirati znanje učeći iz iskustva (tj. primjera).

¹⁷ Very-Large-Scale Integration - VLSI.

Istraživanja na području umjetnih neuronskih mreža posljednjih su godina intenzivirana i zbog pitanja sigurnosti. Prema N. Žalac¹⁸, među važnijim dostignućima je i primjena identificiranja osoba na temelju šarenice oka koju je američka tvrtka *Iriscan* razvila za potrebe američke vlade. Kreiranjem sustava koji uči iz uzoraka proizvoda koje kupuje vlasnik kreditne kartice utvrđuje se njihova zloporaba. Umjetne neuronske mreže često se koriste za predviđanje kretanja određenih ekonomskih kategorija, kontroli kvalitete proizvoda i sl. Neuronske mreže često se poistovjećuju s ljudskim mozgom te se njihova sličnost najviše ogleda na konceptu neuronskih veza koje omogućuju učenje. Zbog značajne primjene u učenju razlike među njima ogledaju se u arhitekturi, načinu učenja i signalima, odnosno limiterima. Prema arhitekturi mreže se dijele na:

- *FFNN - Feedforward ANN* – mreže s vezama koje uvijek idu isključivo prema sljedećem sloju i na povratne mreže; njihov neuron može biti povezan s nizom ostalih neurona u sljedećem sloju pa nisu zatvorene
- *Recurrent NN* – mreže kod kojih se rezultat uvijek vraća na početak, radi se uvježbavanje i ponavljanje kako bi se minimizirala pogreška.

Po načinu učenja mreže mogu biti nadgledane, nenadgledane i pojačane. Kod nadgledanih mreža podatci mogu biti kontinuirani ili diskretni, a kod pojačanih se mreža podatci iz okoline interaktivno pribavljaju.

Velik broj problema sa značajnom kompleksnošću danas se rješava uz pomoć umjetnih neuronskih mreža. U programiranju se koriste kao generator za obavljanje različitih prepoznavanja i klasifikacije jer imaju sposobnost generaliziranja u odlučivanju kod nepreciznih ulaznih podataka. Prikladne su za prevođenje teksta u govor te rješavanje problema za koje ne postoji algoritamsko rješenje.

Zaključak

Umjetne neuronske mreže građene su od umjetnih neurona koji su međusobno povezani. Kako bi razvile primjerenu strategiju analize podataka koriste se strukturom ljudskoga mozga oponašajući biološke neuronske mreže. Umjetni neuron oponaša biološki neuron te pronalaze vezu među aktivno-

¹⁸ Usp. N. ŽALAC, *n. dj.*

stima neurona i promjena na sinapsama s mišljenjem, pamćenjem i percepcijom. Analitičku sposobnost omogućuju im veze među neuronima, odnosno težinama do kojih dolazi postupkom prilagodbe, odnosno učenjem iz skupa podataka. U računalnoj znanosti to je mreža izrazito povezanih elemenata koji obrađuju podatke. Umjetne neuronske mreže po strukturi, funkciji i obradi informacija slične su biološkim neuronskim mrežama. Ali, to je sustav sačinjen od više jednostavnih procesora (neurona), a svaki od njih sadržava lokalnu memoriju u kojoj čuva podatke koje obrađuje. Primjenjuju se za rješavanje problema koji se tradicionalnim pristupom teško rješavaju. Istraživanja na ovom području potaknuta su željom za izračunavanjem nalik onomu koje ljudski mozak izvodi rutinski. Uvijek imaju samo jedan izlaz i jedan ili više ulaza. Između ulaza i izlaza nalaze se jedan ili više skrivenih slojeva. Kod višeslojnih mreža slojevi su i neuroni povezani vezama kroz koje prolaze signali, a putem aktivacijske funkcije postavlja se uvjet kojim se aktiviraju veze među njima. Koriste se za rješavanje problema gdje ne postoji algoritamsko rješenje, odnosno gdje su problemi i suviše kompleksni za rješavanje konvencionalnom tehnologijom. Najbolje rezultate pokazuju pri predviđanju i modeliranju kod kompleksnih ili nejasnih sustava.

U novije se vrijeme uglavnom koriste višeslojne umjetne neuronske mreže koje pored ulaznih i izlaznih slojeva sadrže neurone na srednjim, odnosno skrivenim slojevima. Kako bi mreža mogla učiti nelinearne funkcije, nužno je neuronima na skrivenim slojevima dodati aktivacijske funkcije. Za neurone na izlaznom sloju mogu se birati aktivacijske funkcije koje odgovaraju raspodjeli ciljnih vrijednosti. Ove mreže mogu rješavati probleme za koje su osposobljene. Sukladno radu biološke neuronske mreže kod koje atrofiraju rijetko korišteni neuroni, umjetna neuronska mreža osposobljena je za rješavanje specifičnih zadataka dok one za koje nije osposobljena, generalizira nove ulazne podatke. Kako bi se umjetna neuronska mreža u kasnijoj uporabi mogla ponašati što preciznije nužno je dati što više primjera za učenje jer proces učenja dovodi do korigiranja sinaptičkih težina. Mreža se smatra osposobljenom tek kada uzorci koji se na mreži predstavljaju više ne dovode do promjene koeficijenata. Umjetne neuronske mreže vode izjednačavanju digitalne inteligencije s ljudskom nakon čega se predviđa ubrzan razvoj tehnologije i virtualne inteligencije.