

katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 646237.

Želimo svakako spomenuti, uz znanstveni i stručni, još jedan iznimno važan doprinos autorice. Kao dugogodišnja sveučilišna profesorica, koja se kontinuirano sretala s inozemnim nazivljem u području geologije ležišta nafte i plina, ali i geologije uopće, te

koja je na svojim predavanjima uvijek upotrebljavala vrlo lijepi hrvatski izričaj. Prof. Velić u toj knjizi (udžbeniku) je priredila i vrlo lijepi rječnik hrvatsko-engleskog nazivlja. Pažljivi čitatelj će lako kroz tekst pronaći izraze u duhu hrvatskog jezika za brojne pojmove koje opisuju naftnogeološke sustave.

HRVATSKO – HRVATSKI RJEČNIK IZ PRIMJENE NEURONSKIH MREŽA U GEOLOGIJI

Tomislav MALVIĆ i Marko CVETKOVIĆ

Aktivacijska funkcija (engl. "*activation function*") - Pokreće se ovisno o graničnoj vrijednosti nužnoj za prihvaćanje hipoteze. To omogućava da neuronska mreža izračuna ukupan rezultat. Vrijednosti težinskih koeficijenata i prihvaćanja hipoteze mijenjaju se i prilagođavaju kroz razdoblje uvježbavanja (ili učenja) mreže.

Algoritam postupnog opadanja (engl. "*gradient descent algorithm*") - Povratni postupak se upotrebljava u višeslojnim mrežama, no često može znatno produžiti vrijeme uvježbavanja mreže. Redukcija vremena učenja postupno je prevladana uvođenjem metode *postupnog opadanja* kojim je poboljšan algoritam povratnog postupka.

Algoritam s povratnim postupkom (engl. "*back error propagation algorithm*") - Podrazumijeva da učenje mreže uključuje određivanje razlike između stvarnog i željenog odgovora, tj. izračun pogreške se vraća natrag u mrežu u novi korak s ciljem postizanja najuspješnijeg učenja. Takva pogreška je izračunata za svaki neuron te upotrijebljena za prilagodbu težinskih koeficijenata i vrijednosti aktivacije funkcije. Takav korektivan postupak

nazvan je *mrežom s povratnim postupkom* koja opisuje postupak učenja i provjere mreže. To je ponovljeno toliko puta dok pojedinačna ili ukupna pogreška nije niža od postavljene granične vrijednosti. Nakon dosezanja te granice učenje mreže je završeno i ista može biti primijenjena za obradu novih ulaza. Taj postupak danas je najpopularnija paradigma koja se primjenjuje u neuronskim mrežama. Time je povratna informacija provučena kroz mrežu od ulaza do njezina izlaza.

Arhitektura potpuno povezanih perceptrona (engl. "*completely connected perceptrons*") - Podrazumijeva da su unutar sloja svi skriveni neuroni spojeni prema naprijed kroz sve moguće kombinacije.

Delta-bar-delta (engl. "*Delta-bar-Delta rule*") - Pravilo je razvio Jacobs (1988) s ciljem povećanja brzine konvergencije postupka kod klasičnog delta pravila. To je heuristički pristup prostorne raspodjele koeficijenata učenja η na način da svaka veza u mreži ima svoju stopu učenja i mijenja te stope kontinuirano kako učenje napreduje. Ovo pravilo učenja koristi zadani (stvarni) izlaz za

računanje pogreške. Samim tim mreže koje primjenjuju ovo pravilo su nadgledane.

Delta pravilo (engl. "*Delta rule*") - Poznato je kao i Widrow/Hoff-ovo pravilo ili pravilo najmanjih srednjih kvadrata. Cilj ovog pravila je minimizirati sumu kvadrata pogrešaka, gdje je pogreška definirana kao razlika između izračunatog i stvarnog (zadanog) izlaza neke neuronske mreže za dane ulazne podatke. Jednadžba delta pravila je:

$$\Delta w_{ji} = \eta \cdot izlaz_{cj} \cdot \varepsilon_i$$

gdje je Δw_{ji} vrijednost prilagođavanja težine veze od neurona j prema neuronu i izračunatom prema:

$$\Delta w_{ji} = w_{ji}^{nova} - w_{ji}^{stara}$$

$izlaz_{cj}$ je vrijednost izlaza izračunatog u neuronu j , ε_i je tzv. sirova pogreška izračunata prema:

$$\varepsilon_i = izlaz_{ci} - izlaz_{di}$$

η je koeficijent učenja, a $izlaz_{di}$ je zadani (stvarni) izlaz. Sirova pogreška u prethodnoj formuli rijetko se širi unatrag kroz mrežu. Češće se koriste neki drugi oblici izračuna pogreške.

Efekt preuvježbavanja neuronske mreže (engl. "*overtraining effect*") – Događa se prilikom odabira prevelikog broja iteracija, posebno u sprezi s malom vrijednosti iznosa učenja. Ovako uvježbana neuronska mreža imati će malu vrijednost pogreške prilikom predviđanja, no neće biti u mogućnosti uspješno predviđati nove vrijednosti, vrijednosti na kojima nije bila uvježbavana, zbog potpunog prilagođavanja težinskih koeficijenata podacima na kojem je uvježbavana.

Elastičan povratni algoritam (engl. "*resilient propagation algorithm*") – Jedan od algoritama koji ubrzavaju proces treninga (skr. RProp). Za razliku od standardnog algoritma s povratnim postupkom, RProp upotrebljava samo parcijalne derivacije u procesu podešavanja težinskih koeficijenata, odnosno služi se tzv. učenjem kroz epohe gdje su težinski koeficijenti podešeni tek nakon definiranja svih uzoraka ponašanja ili veza između podataka iz cijeloga ulaznog skupa. Rezultat je 4-5 puta brži rad RProp algoritma, nego li standardnog algoritma s povratnim postupkom.

Elastičan unaprijeđeni povratni algoritam (engl. "*improved resilient propagation algorithm plus*") – Naziv (skr. IRprop+) za unaprijeđeni Rprop algoritam s lokalnim prilagodivim pravilom učenja.

Iteracija (engl. "*epoch*") – Predstavlja jedan korak u analizi podataka neuronskom mrežom prilikom kojeg se težinski koeficijenti prilagođavaju u odnosu na iznos učenja. Broj iteracija zadaje korisnik prilikom određivanja parametara neuronske mreže. Veći broj iteracija pri uvježbavanju mreže načelno znači da će mreža imati manju pogrešku prilikom predviđanja, no postoji opasnost od "preuvježbavanja" mreže.

Izlazni sloj (engl. "*output layer*") – Uvijek postoji samo jedan izlazni sloj u mreži. U njemu su predstavljeni rezultati rada (uvježbavanje, predviđanja) mreže.

Iznos učenja (engl. "*learning rate*") – Važan parametar kod uvježbavanja mreže. Pravilno podešavanje te vrijednosti omogućuje dobro prepoznavanje općega trenda u promjeni vrijednosti ulaznih podataka.

Koeficijent momenta (engl. "*momentum coefficient*") – Vrlo je važan parametar kod uvježbavanja mreže. Određuje veličinu prijašnjih iteracija te njezin utjecaj na novu procjenu. Geološki smisao gornje tvrdnje može se prikazati na sljedećem primjeru. Zamislimo sljedeći skup 1D vrijednosti

poroznosti: 7,2; 7,0; 6,3; 5,7; 6,2; 6,5; 5,5; 5,2 %. Takav niz iskazuje općeniti trend smanjivanja vrijednosti prema svome kraju. No, također sadrži i jedan lokalni minimum od 5,7 % na 4. mjestu.

Kohonen-ovo pravilo (engl. "*Kohonen's rule*") – Pravilo učenja kod kojeg neuronska mreža ne uči na poznatim izlazima, a težine u mreži prilagođuju se koristeći ulaz u neuron *i*.

Korekcijski izraz (engl. "*correction rate*") - Predstavlja razliku između stvarne i modelirane vrijednosti. Ta vrijednost je izračunata za svaki *skriveni sloj*, dok mreža pokušava smanjiti spomenutu razliku u svakoj sljedećoj iteraciji.

Lokalno prilagodiva pravila učenja (engl. "*local adaptive learning rules*") – To su mreže koje korisniku olakšavaju podešavanje parametara uvježbavanja, automatizirajući neke ulazne vrijednosti koje postavlja korisnik. Na primjer, omogućeno je da se pojam *iznosa učenja* mreže poznaje samo elementarno. Nadalje, svaka sinaptička veza unutar mreže ima svoju vlastitu vrijednost iznosa učenja, optimiziranu kroz trening. Automatiziran je i proces određivanja veličine mreže čime je spriječeno zagušenje prilikom modeliranja, odnosno predimenzioniranje zbog memoriziranja podataka ili analize podataka koji predstavljaju "šum", odnosno nisu karakteristični za ulazni signal.

Lokalni minimum (engl. "*local minima*") – Problem se javlja zbog načina na koji se pogrješka, tj njen iznos, šire kroz mrežu. Događa se kada u procesu uvježbavanja dolazi samo do lokalnog umanjivanja iznosa pogrješke.

Mreža s povratnim postupkom (engl. "*backpropagation network*") - Ograničenje mreže temeljene na perceptronima je da se uzorci mogu razdvojiti i prepoznati samo kroz linearnu matricu. To ograničenje prevladano je uvođenjem nove paradigme ili algoritma nazvanog *povratni postupak*. Taj algoritam unapređuje mehanizam pojedinačnog

perceptrona, upotrebom velikog broja skrivenih slojeva. Od tuda se javlja i naziv *višeslojna mreža*.

Mreža s radijalnom funkcijom (engl. "*radial basis function network*") - Može se upotrebljavati u istim situacijama kao i mreža s postupkom povratne informacije. Ova mreža upotrebljava radijalno simetričnu i radijalno ograničenu aktivacijsku funkciju u svom skrivenom sloju. Mreža s radijalnom funkcijom nema neke nedostatke mreže s postupkom povratne informacije kao što su problem lokalnog minimuma i dugotrajan proces učenja, no zahtijeva više računanja u fazi prekida rada mreže prije nego li sama kroz zadani broj iteracija dosegne zadani minimum.

Mrežni slojevi (engl. "*network layers*") - Odabrani broj neurona predstavlja *ulazni sloj* koji prikupljaju i raspodjeljuju podatke u mreži. Svi takvi ulazi su prilagođeni kroz jednadžbu koja se primjenjuje unutar *skrivenih slojeva* upotrebom aktivacijske funkcije. Rezultat je prikazan u *izlaznom sloju*. Skriveni slojevi su povezani samo unutar mreže i ne šalju informacije izvan iste.

Nadgledane uvježbane mreže (engl. "*supervised trainable networks*") - korisnik takvu mrežu opremi s nekoliko primjera u kojima je traženi problem riješen. Iz toga uzorka mreža vježba, odnosno uči te će iz sličnog ulaznog skupa može samostalno načiniti predviđanje nedostajućih podataka upotrebom naučenog uzorka. Ako neobrađeni ulazni skup sadrži nove varijable predviđanje mrežom bit će krivo ili ga uopće neće biti moguće načiniti.

Perceptron (engl. "*perceptron*") – Sustav neuronske mreže koji se temelji na pohrani podataka na način kako se to odvija u ljudskom umu. Takav mehanizam posjeduje svojstva "učenja" te je u stvari prvi prototip kasnijih neuronskih mreža. Perceptronski mehanizam temelji se na međupoveznicama kakvima je obilježena ljudska asocijativna memorija.

Poopćeno delta pravilo (engl. "generalized Delta rule") - Pravilo je dobiveno dodavanjem derivacije ulazne funkcije u delta pravilo tako da se prilagođavanje težina računa po formuli:

$$\Delta w_{ji} = \eta \cdot y_{cj} \cdot \varepsilon_i \cdot f'(I_i)$$

gdje je I_i ulaz u neuron i . Ovo pravilo može se koristiti kod nelinearnih aktivacijskih funkcija.

Povratni postupak (engl. "backpropagation algorithm") - Podrazumijeva proces treniranja mreže koji uključuje određivanje razlike između stvarnoga i željenoga odgovora mreže, odnosno izračun iznosa *pogrješke* koji se vraća nazad u mrežu kako bi se bolje uvježbala, odnosno utrenirala. Takva pogrješka određena na svakome neuronu služi za prilagođavanje postojećih težinskih koeficijenata i vrijednosti njihove aktivacije. Vidjeti i *algoritam povratnog postupka*.

Pravilo učenja (engl. "learning rules") – Predstavlja formulu koja se koristi za prilagođavanje težinskih koeficijenata među neuronima. Najčešće korištena pravila su: delta pravilo, poopćeno delta pravilo, delta-bar-delta pravilo i Kohonenovo pravilo.

Skriveni sloj (engl. "hidden layer") – Još se nazivaju i međuslojevi. Nemaju veza s okolinom, već im je namjena da obrađuju podatke, upotrebom aktivacijske funkcije, koji su u mrežu došli preko *ulaznih slojeva*.

Težinski koeficijent (engl. "weighting coefficient") - Svakome ulazu dodijeljena je odgovarajuća *težina* ili *težinski koeficijent* kojom se opterećuje ulazna vrijednost. S obzirom na rezultat neuron će ostati neaktivan ili se aktivirati. O vrijednostima i uvjetima aktivacije odlučuje *aktivacijska funkcija*.

Ulazni sloj (engl. "input layer") – čini ga niz odabranih neurona, koji prosljeđuju podatke učitanu iz mreže.

Umjetni neuron (engl. "artificial neuron") – Predstavlja osnovnu strukturu mreže. Takav neuron obuhvaća nekoliko ulaza i jedan izlaz. Svaki ulaz je povezan s odgovarajućim *težinskim koeficijentom*. Ovisno o rezultatu *aktivacijske funkcije* neuronski izlaz bit će aktiviran ili ostati neaktivan.

Višeslojna mreža (engl. "multiple layer perceptron") – Neuronska mreža koja sadrži veći broj *skrivenih slojeva* (vidjeti i *mrežu s povratnim postupkom*).