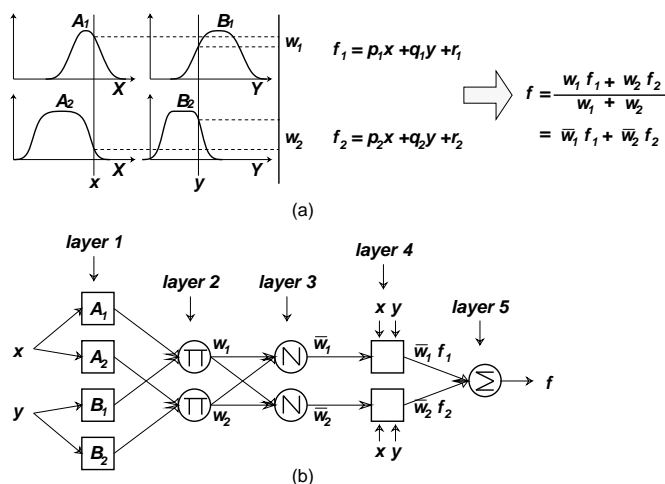


6. zadatak

Prosinac, 2018.

Potrebno je izraditi neuro-fuzzy sustav koji odgovara ANFIS-u koji smo obradili na predavanjima. Konkretno, radi se o neuro-fuzzy sustavu koji koristi zaključivanje tipa 3 (metodu Takagi-Sugeno-Kang). Neuro-fuzzy sustav treba imati dva ulaza i jedan izlaz čime će obavljati preslikavanje $\mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$. Takav sustav prikazan je na slici 1.



Slika 1: ANFIS mreža koja ostvaruje neizraziti sustav (zaključivanje tipa 3)

Skup primjera za učenje u tom slučaju će biti $\{((x_1, y_1), z_1), \dots, ((x_N, y_N), z_N)\}$, pri čemu je broj primjera jednak N . U općem slučaju, sustav će raspolagati s m pravila:

\mathbb{R}_1 : Ako x je A_1 i y je B_1 tada $z = p_1 x + q_1 y + r_1$

\mathbb{R}_2 : Ako x je A_2 i y je B_2 tada $z = p_2 x + q_2 y + r_2$

...

\mathbb{R}_m : Ako x je A_m i y je B_m tada $z = p_m x + q_m y + r_m$.

Antecedent će uvijek sadržavati ispitivanje za obje varijable, a konsekvens će uvijek biti linearna kombinacija ulaznih varijabli. Uz zadani skup od m pravila, temeljem primjera za učenje sustav treba naučiti ukupno $2 \cdot m$

neizrazitih skupova koji se nalaze u antecedent dijelu pravila te $3 \cdot m$ parametara koji određuju m funkcija u konsekvens-dijelovima pravila.

1 Zadatak

U okviru ovog dijela projekta potrebno je riješiti sve točke koje su navedene u nastavku te pripremiti izvještaj u kojem će se moći vidjeti kako ste riješili pojedine dijelove zadatka koji slijede. Izvještaj ćete isprintati i donijeti sa sobom u terminu laboratorija; izvještaj nije potrebno uvezivati (ali ga barem zaklamajte u gornjem lijevom uglu). Izvještaj možete:

- Napisati na jednom ili više papira (ali *kristalno čitko*), papire skenirati i pohraniti kao jedan PDF dokument. U tom slučaju skeniranom dijelu ćete morati dodati još stranice koje ćete pripremiti direktno na računalu a koje će sadržavati druge tražene podatke (primjerice, grafove).
- Napisati u *WYSIWYG*-uređivaču teksta poput OpenOffice-a, LibreOffice-a ili Microsoft Office-a i potom dokument pohraniti kao PDF. Alternativno, za maksimalnu kvalitetu i tipografsku izvrsnost izvještaja, isti možete napisati u L^AT_EX-u.

Na Ferka trebate uploadati ZIP arhivu koja sadrži programsko rješenje zadanog zadatka (molim obratite pažnju na format arhive: ZIP).

Vaš je zadatak sljedeći.

1. Izvedite postupak učenja koji je prikladan za ovakvu mrežu a koji se temelji na gradijentnom spustu. Trebate pokazati kako ste došli do pravila učenja za svaki od parametara (odnosno, za svaku "vrstu" parametara). Ovaj izvod treba biti dio Vašeg izvještaja. **Iz izvoda treba biti jasno vidljivo kako se provodi postupak učenja koji se temelji na izračunu pravog gradijenta a kako postupak koji se temelji na *stohastičkoj* varijanti.** Na terminu predaje očekivat ćemo da ovo znate na zahtjev ponovno samostalno izvesti. Argumente tipa "Wofram Alpha mi je računala derivacije - ja to ne znam sam napraviti" ne uvažavamo.
2. Napišite programske implementacije obje izvedene varijante algoritma učenja (algoritam koji koristi pravi gradijent te stohastičku inačicu algoritma). U programskoj implementaciji broj pravila se treba moći definirati kao parametar programa (zadaje se kao argument preko naredbenog retka), tako da Vam bude jednostavno raditi eksperimente s različitim brojem parametara.
3. Pripremite primjere za učenje kako je opisano u nastavku. Nacrtajte:
 - graf koji prikazuje kako izgleda zadana funkcija nad zadanom domenom (primijetite - to će biti ploha).

4. Temeljem tih primjera za učenje pokušajte provesti učenje neuro-fuzzy sustava koji se sastoji od:

- (a) samo jednog pravila,
- (b) dva pravila te
- (c) prikladnog broja pravila (što znači prikladno? razmislite!).

Isprobajte kakve su performanse obje inačice algoritama učenja. Što je sa stopama učenja u obje varijante?

Za svaki od slučajeva (a), (b) i (c) napravite još i sljedeće:

- (a) nacrtajte kako izgleda funkcija koju je naučio ANFIS nad zadanim domenom te
- (b) nacrtajte kako se kreću odstupanja naučene funkcije i uzoraka za učenje nad svim uzorcima za učenje (vidi točku 6 u nastavku).

5. Za neuro-fuzzy sustav s kojim ste zadovoljni ((c) dio u prethodnoj točki; u smislu da dovoljno dobro aproksimira zadane primjere za učenje) nacrtajte kako izgledaju naučene funkcije pripadnosti. Pokušajte tim neizrazitim skupovima dati odgovarajuće ime (ako je to moguće; što svaki od njih predstavlja?). VAŽNO: Prilikom prikazivanja funkcija pripadnosti obavezno obratite pažnju na to da grafovi i vizualno moraju biti usporedivi (što znači da svi po apscisi **moraju** pokrivati identičan raspon te po ordinati **moraju** pokrivati vrijednosti od 0 do 1 – ovisno o alatu koji ćete koristiti za generiranje slika ovo nije defaultno ponašanje pa obratite na to pažnju). Preporučamo da za generiranje grafova koristite besplatan alat *gnuplot*.

6. Funkcija *pogreške uzorka* $\delta(x, y)$ je definirana kao razlika između vrijednosti koji neuro-fuzzy sustav daje na izlazu za točku (x, y) i stvarne vrijednosti koju zadana funkcija poprima u točki (x, y) ; primijetite da to odstupanje može biti pozitivno ili negativno. Uočite da je to, baš kao i zadana funkcija, funkcija dviju varijabli pa ćete za prikaz morati posegnuti u 3D vizualizaciju. Idealno, funkcija pogreške uzorka bi u svim točkama imala vrijednost 0 (kada biste uspjeli savršeno naučiti zadano preslikavanje).

7. Za neuro-fuzzy sustav s kojim ste zadovoljni ponovite postupak učenja s obje inačice algoritma i u datoteku pohranite pogrešku koju sustav radi nakon svake epohe učenja. Nacrtajte graf kretanja pogreške ovisno o broju epohe. Usporedite dobivene grafove.

8. Pokušajte se igrati s različitim vrijednostima stope učenja (η). Koja je prikladna vrijednost i kako ona utječe na brzinu konvergencije algoritma? Za obje inačice algoritma i za tri rubne vrijednosti stope

učenja (vrlo mala, baš prikladna te vrlo velika) nacrtajte graf kretanja srednje kvadratne pogreške ovisno o epohi. Usporedite te grafove i komentirajte.

Za potrebe izrade traženih grafova slobodno koristite gotove alate; Vaš program će u tom slučaju trebati u formatu koji prihvaća odabrani alat pripremiti skup točaka i pridruženih vrijednosti. Ako nemate ideju koji od alata koristiti, predlažemo da iskušate alat otvorenog koda `gnuplot`.

1.1 Priprema podataka za učenje

Zadana je funkcija:

$$\bullet f(x, y) = ((x - 1)^2 + (y + 2)^2 - 5xy + 3) * \cos^2\left(\frac{x}{5}\right)$$

koje je definirana nad domenom $x \in [-4, 4]$, $y \in [-4, 4]$. Za tu funkciju pripremite primjere za učenje tako da napravite uzorkovanje po svim cjelim brojevima iz zadane domene (ukupno 81 uzorak). Te uzorke koristit ćete za treniranje mreže.

1.2 Modeliranje funkcija pripadnosti

Neuroni u prvom sloju na slici 1 modeliraju neizrazite skupove. Njihova prijenosna funkcija (a time i funkcija pripadnosti koju koristi sustav ANFIS) je:

$$\mu_{A_i^1}(x) = \frac{1}{1 + e^{b_i(x-a_i)}}.$$

1.3 Modeliranje T-norme

Kako su pravila zadana u obliku konjunkcije, ukupna jakost kojom i -to pravilo pali računa se uporabom T -norme. U tu svrhu koristite algebarski produkt:

$$\mu_{A_i \cap B_i}(x) = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(x).$$

1.4 Završne napomene

Ovaj projektni zadatak rješava se samostalno i "timsko" rješavanje nije dopušteno. Ako imate pitanja ili problema oko rješavanja zadatka, potražite nas na Zavodu i dođite na konzultacije.