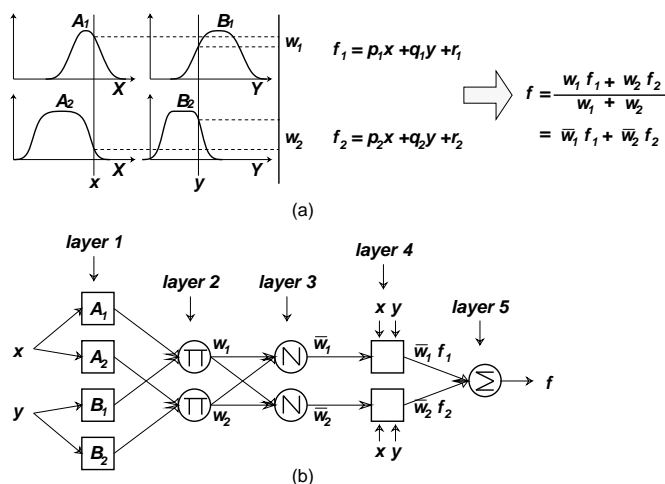


Uputa za 2. dio projektnog zadatka

Prosinac, 2012.

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 zadataka koji slijede. Izvještaj ćete uploadati na Ferka kao jednu PDF datoteku. 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.
- Za maksimalnu kvalitetu i tipografsku izvrsnost izvještaj možete napisati u L^AT_EX-u.

Osim izvještaja, na Ferka ćete uploadati i 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.**
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, tako da Vam bude jednostavno raditi eksperimente s različitim brojem parametara.
3. Pripremite primjere za učenje kako je opisano u nastavku.
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?

5. Za neuro-fuzzy sustav s kojim ste zadovoljni (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?). 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 *gnu-plot*.
6. Za neuro-fuzzy sustav s kojim ste zadovoljni nacrtajte funkciju *pogreške uzorka* $\delta(x, y)$ koja 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) . 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.
9. Jeste li se prilikom učenja na zadanim primjerima susreli s lokalnim optimumima? Komentirajte!

1.1 Priprema podataka za učenje

Zadane su sljedeće funkcije:

- $f_1(x, y) = ((x - 1)^2 + (y + 2)^2 - 5xy + 3) * \cos^2(\frac{x}{5})$
- $f_2(x, y) = ((x + 2)^2 - (y - 1)^2 + 5xy - 2) * \sin^2(\frac{x}{5})$

koje su definirane nad domenom $x \in [-4, 4]$, $y \in [-4, 4]$. Za Vama dodeljenu funkciju (zadnja znamenka JMBAG-a parna: f_1 , zadnja znamenka JMBAG-a neparna: f_2) 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. Definirane su tri mogućnosti:

- $\mu_{A_i^1}(x) = \frac{1}{1 + e^{b_i(x - a_i)}}$,
- $\mu_{A_i^2}(x) = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i}\right)^2\right]^{b_i}}$ te
- $\mu_{A_i^3}(x) = e^{-\left[\left(\frac{x - c_i}{a_i}\right)^2\right]^{b_i}}$.

Ovisno o *predzadnjoj* znamenci Vašeg JMBAG-a koristite $\mu_{A_i^1}(x)$ ako je predzadnja znamenka iz $\{0, 3, 6, 9\}$, $\mu_{A_i^2}(x)$ ako je predzadnja znamenka iz $\{1, 4, 7\}$ te $\mu_{A_i^3}(x)$ ako je predzadnja znamenka iz $\{2, 5, 8\}$.

1.3 Modeliranje T-norme

Kako su pravila zadana u obliku konjunkcije, ukupna jakost kojom i -to pravilo pali računa se uporabom T -norme. Definirane su tri mogućnosti:

- $\mu_{A_i \cap B_i}(x) = \mu_{A_i} \cdot \mu_{B_i}$ (algebarski produkt),
- $\mu_{A_i \cap B_i}(x) = \frac{\mu_{A_i} \cdot \mu_{B_i}}{\mu_{A_i} + \mu_{B_i} - \mu_{A_i} \cdot \mu_{B_i}}$ (Hamacherov produkt) te
- $\mu_{A_i \cap B_i}(x) = \frac{\mu_{A_i} \cdot \mu_{B_i}}{2 - (\mu_{A_i} + \mu_{B_i} - \mu_{A_i} \cdot \mu_{B_i})}$ (Einsteinov produkt).

Ovisno o *predzadnjoj* znamenci Vašeg JMBAG-a koristite *algebarski produkt* ako je predzadnja znamenka iz $\{0, 1, 2, 3\}$, *Hamacherov produkt* ako je predzadnja znamenka iz $\{4, 5, 6\}$ te *Einsteinov produkt* ako je predzadnja znamenka iz $\{7, 8, 9\}$.

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. Rok za predaju programskog rješenja i izvještaja (upload preko Ferka) je petak, 08. siječnja 2013. u ponoć. Nakon što uploadate rješenje projekta na Ferka, rješenja ćemo pregledati prije termina demonstracije rješenja u laboratoriju. Demonstracija projekta sastojat će se od demonstracije rada programskog rješenja te "obrane" pripremljenog izvještaja.