## **ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

## **ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**



**ΕΠΩΝΥΜΟ: ΠΑΠΑΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ**

**ΟΝΟΜΑ: ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

**ΑΕΜ: 8977**

## ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2020

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση της ικανότητας τν μοντέλων TSK στη μοντελοποίηση πολυμεταβλητών, μη γραμμικών συναρτήσεων. Θα χρησιμοποιηθεί ένα σύνολο δεδομένων για μια απλή διερεύνηση της διαδικασίας εκπαίδευσης και αξιολόγησης ασαφών νευρωνικών μοντέλων.

Ως πρώτη φάση της εργασίας είναι η λήψη του αρχείου airfoil\_self\_noise.dat, το οποίο περιέχει 1503 δείγματα και 6 χαρακτηριστικά, τα οποία είναι:

* **συχνότητα**, σε Hertzs, που χρησιμοποιείται ως είσοδος.
* **angle\_of\_attack**, σε μοίρες, χρησιμοποιείται ως είσοδος.
* **chord\_length**, σε μέτρα, χρησιμοποιείται ως είσοδος.
* **free\_stream\_velocity**, σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο, χρησιμοποιείται ως είσοδος.
* **suction\_side\_displacement\_thickness**, σε μέτρα, που χρησιμοποιείται ως είσοδος.
* **scaled\_sound\_pressure\_level**, σε ντεσιμπέλ, που χρησιμοποιείται ως στόχος.

Στη συνέχεια διαχωρίσαμε τα παραπάνω στοιχεία σε τρία τμήματα. Το πρώτο τμήμα, το trnD, που περιέχει το 60% των δεδομένων, θα χρησιμοποιηθεί για εκπαίδευση. Το δεύτερο τμήμα, το valD, που περιέχει το 20% από το υπόλοιπο 40% των δεδομένων, θα χρησιμοποιηθεί για επικύρωση και αποφυγή του φαινομένου της υπερεκπαίδευσης. Το τελευταίο τμήμα, το chkD, το υπόλοιπο 20%, θα χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της απόδοσης του τελικού μας μοντέλου.

Για το διαχωρισμό του αρχείου airfoil\_self\_noise.dat, δημιουργήθηκε ο κώδικας Matlab που παρουσιάζεται στο παράρτημα Α.

Στις εικόνες που ακολουθούν, εικόνα 1 και 2 παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προέκυψαν μέσω της διαδικασίας εκπαίδευσης χωρίς επικύρωση, με 2 συναρτήσεις συμμετοχής. Ο κώδικας με τον οποίο παρήχθησαν τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται στο παράρτημα Β.



**Εικόνα 1:** ANFIS Hybrid Training - No Validation



**Εικόνα 2:** Η τελική μορφή των ασαφών συνόλων ANFIS Hybrid Training - No Validation

Στον πίνακα που ακολουθεί, πίνακας 1, παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών RMSE, NMSE, NDEI, R2.

**Πίνακας 1:** Οι τιμές των μεγεθών RMSE, NMSE, NDEI, R2, για ANFIS Hybrid Training - No Validation

|  |  |
| --- | --- |
| RMSE | 3.7971 |
| NMSE | 0.2963 |
| NDEI | 0.5444 |
| R2 | 0.7037 |

Στις εικόνες που ακολουθούν, εικόνα 3 και 4 παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προέκυψαν μέσω της διαδικασίας εκπαίδευσης με επικύρωση με τη χρήση δύο συναρτήσεων συμμετοχής. Ο κώδικας με τον οποίο παρήχθησαν τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται στο παράρτημα Γ.



**Εικόνα 3:** ANFIS Hybrid Training - Validation



**Εικόνα 4:** Η τελική μορφή των ασαφών συνόλων ANFIS Hybrid Training - Validation

Στον πίνακα που ακολουθεί, πίνακας 2, παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών RMSE, NMSE, NDEI, R2.

**Πίνακας 2:** Οι τιμές των μεγεθών RMSE, NMSE, NDEI, R2, για ANFIS Hybrid Training - Validation

|  |  |
| --- | --- |
| RMSE | 3.5353 |
| NMSE | 0.2564 |
| NDEI | 0.5063 |
| R2 | 0.7436 |

Στις εικόνες που ακολουθούν, εικόνα 5 και 6 παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προέκυψαν μέσω της διαδικασίας εκπαίδευσης χωρίς επικύρωση, με 3 συναρτήσεις συμμετοχής. Ο κώδικας με τον οποίο παρήχθησαν τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται στο παράρτημα Δ.



**Εικόνα 5:** ANFIS Hybrid Training - No Validation



**Εικόνα 6:** Η τελική μορφή των ασαφών συνόλων ANFIS Hybrid Training - No Validation

Στον πίνακα που ακολουθεί, πίνακας 3, παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών RMSE, NMSE, NDEI, R2.

**Πίνακας 3:** Οι τιμές των μεγεθών RMSE, NMSE, NDEI, R2, για ANFIS Hybrid Training - No Validation

|  |  |
| --- | --- |
| RMSE | 3.5643 |
| NMSE | 0.2784 |
| NDEI | 0.5276 |
| R2 | 0.7216 |

Στις εικόνες που ακολουθούν, εικόνα 7 και 8 παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προέκυψαν μέσω της διαδικασίας εκπαίδευσης με επικύρωση με τη χρήση τριών συναρτήσεων συμμετοχής. Ο κώδικας με τον οποίο παρήχθησαν τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται στο παράρτημα E.



**Εικόνα 7:** ANFIS Hybrid Training - Validation



**Εικόνα 8:** Η τελική μορφή των ασαφών συνόλων ANFIS Hybrid Training - Validation

Στον πίνακα που ακολουθεί, πίνακας 4, παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών RMSE, NMSE, NDEI, R2.

**Πίνακας 4:** Οι τιμές των μεγεθών RMSE, NMSE, NDEI, R2, για ANFIS Hybrid Training - Validation

|  |  |
| --- | --- |
| RMSE | 3.6289 |
| NMSE | 0.2745 |
| NDEI | 0.5239 |
| R2 | 0.7255 |

Στις εικόνες που ακολουθούν, εικόνα 9 και 10 παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προέκυψαν μέσω της διαδικασίας εκπαίδευσης χωρίς επικύρωση, με 2 συναρτήσεις συμμετοχής, πολυωνυμική. Ο κώδικας με τον οποίο παρήχθησαν τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται στο παράρτημα ΣΤ.



**Εικόνα 9:** ANFIS Polynomial Training - No Validation



**Εικόνα 10:** Η τελική μορφή των ασαφών συνόλων ANFIS Polynomial Training - No Validation

Στον πίνακα που ακολουθεί, πίνακας 5, παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών RMSE, NMSE, NDEI, R2.

**Πίνακας 5:** Οι τιμές των μεγεθών RMSE, NMSE, NDEI, R2, για ANFIS Polynomial Training - No Validation

|  |  |
| --- | --- |
| RMSE | 3.6824 |
| NMSE | 0.2813 |
| NDEI | 0.5304 |
| R2 | 0.7187 |

Στις εικόνες που ακολουθούν, εικόνα 11 και 12 παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προέκυψαν μέσω της διαδικασίας εκπαίδευσης με επικύρωση με τη χρήση δύο συναρτήσεων συμμετοχής, πολυωνυμική. Ο κώδικας με τον οποίο παρήχθησαν τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται στο παράρτημα Z.



**Εικόνα 11:** ANFIS Polynomial Training - Validation



**Εικόνα 12:** Η τελική μορφή των ασαφών συνόλων ANFIS Polynomial Training - Validation

Στον πίνακα που ακολουθεί, πίνακας 6, παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών RMSE, NMSE, NDEI, R2.

**Πίνακας 6:** Οι τιμές των μεγεθών RMSE, NMSE, NDEI, R2, για ANFIS Polynomial Training - Validation

|  |  |
| --- | --- |
| RMSE | 3.6308 |
| NMSE | 0.2734 |
| NDEI | 0.5229 |
| R2 | 0.7266 |

Στις εικόνες που ακολουθούν, εικόνα 13 και 14 παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προέκυψαν μέσω της διαδικασίας εκπαίδευσης χωρίς επικύρωση, με 3 συναρτήσεις συμμετοχής, πολυωνυμική. Ο κώδικας με τον οποίο παρήχθησαν τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται στο παράρτημα Η.



**Εικόνα 13:** ANFIS Polynomial Training - Validation



**Εικόνα 14:** Η τελική μορφή των ασαφών συνόλων ANFIS Polynomial Training – No Validation

Στον πίνακα που ακολουθεί, πίνακας 7, παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών RMSE, NMSE, NDEI, R2.

**Πίνακας 7:** Οι τιμές των μεγεθών RMSE, NMSE, NDEI, R2, για ANFIS Polynomial Training - Validation

|  |  |
| --- | --- |
| RMSE | 3.55 |
| NMSE | 0.27 |
| NDEI | 0.52 |
| R2 | 0.72 |

Στις εικόνες που ακολουθούν, εικόνα 15 και 16 παρουσιάζονται τα διαγράμματα που προέκυψαν μέσω της διαδικασίας εκπαίδευσης με επικύρωση με τη χρήση τριών συναρτήσεων συμμετοχής, πολυωνυμική. Ο κώδικας με τον οποίο παρήχθησαν τα παρακάτω διαγράμματα παρουσιάζεται στο παράρτημα Θ.

**Εικόνα 15:** ANFIS Polynomial Training - Validation

**Εικόνα 16:** Η τελική μορφή των ασαφών συνόλων ANFIS Polynomial Training - Validation

Στον πίνακα που ακολουθεί, πίνακας 8, παρουσιάζονται οι τιμές των μεγεθών RMSE, NMSE, NDEI, R2.

**Πίνακας 8:** Οι τιμές των μεγεθών RMSE, NMSE, NDEI, R2, για ANFIS Polynomial Training - Validation

|  |  |
| --- | --- |
| RMSE | 3.6 |
| NMSE | 0.27 |
| NDEI | 0.53 |
| R2 | 0.73 |

**Scatter Partition - Subtractive Clustering**

Στη δεύτερη φάση της εργασίας θα ακολουθηθεί μία πιο συστηματική προσέγγιση στο πρόβλημα της μοντελοποίησης μίας άγνωστης συνάρτησης. Έτσι, επιλέχθηκε ένα αρχείο με υψηλότερο βαθμό διαστασιμότητας. Το αρχείο αυτό έχει το όνομα tain.csv.

Ο κώδικας παρουσιάζεται στο παράρτημα Ι.

Στην εικόνα παρουσιάζεται η γραφική παράσταση



**Εικόνα 17:** Η τελική μορφή των ασαφών συνόλων

**Scatter Partition - Fuzzy C-Means**

Στη δεύτερη φάση της εργασίας θα ακολουθηθεί μία πιο συστηματική προσέγγιση στο πρόβλημα της μοντελοποίησης μίας άγνωστης συνάρτησης. Έτσι, επιλέχθηκε ένα αρχείο με υψηλότερο βαθμό διαστασιμότητας. Το αρχείο αυτό έχει το όνομα tain.csv.

Ο κώδικας παρουσιάζεται στο παράρτημα K.

Στην εικόνα παρουσιάζεται η γραφική παράσταση



**Εικόνα 18:** Η τελική μορφή των ασαφών συνόλων

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α:** **Ο ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΑΡΧΕΙΟΥ airfoil\_self\_noise.dat**

|  |
| --- |
| ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB |
| function [trnData,chkData,tstData] = split\_scale(data,preproc)  idx=randperm(length(data));  trnIdx=idx(1:round(length(idx)\*0.6));  chkIdx=idx(round(length(idx)\*0.6)+1:round(length(idx)\*0.8));  tstIdx=idx(round(length(idx)\*0.8)+1:end);  trnX=data(trnIdx,1:end-1);  chkX=data(chkIdx,1:end-1);  tstX=data(tstIdx,1:end-1);  switch preproc  case 1 %Normalization to unit hypercube  xmin=min(trnX,[],1);  xmax=max(trnX,[],1);  trnX=(trnX-repmat(xmin,[length(trnX) 1]))./(repmat(xmax,[length(trnX) 1])-repmat(xmin,[length(trnX) 1]));  chkX=(chkX-repmat(xmin,[length(chkX) 1]))./(repmat(xmax,[length(chkX) 1])-repmat(xmin,[length(chkX) 1]));  tstX=(tstX-repmat(xmin,[length(tstX) 1]))./(repmat(xmax,[length(tstX) 1])-repmat(xmin,[length(tstX) 1]));  case 2 %Standardization to zero mean - unit variance  mu=mean(data,1);  sig=std(data,1);  trnX=(trnX-repmat(mu,[length(trnX) 1]))./repmat(sig,[length(trnX) 1]);  chkX=(trnX-repmat(mu,[length(chkX) 1]))./repmat(sig,[length(chkX) 1]);  tstX=(trnX-repmat(mu,[length(tstX) 1]))./repmat(sig,[length(tstX) 1]);  otherwise  disp('Not appropriate choice.')  end  trnData=[trnX data(trnIdx,end)];  chkData=[chkX data(chkIdx,end)];  tstData=[tstX data(tstIdx,end)];  end |

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β:** **Ο ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ RMSE, NMSE, NDEI, R2 ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ANFIS Hybrid Training - No Validation ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΩΝ ΑΣΑΦΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΥΟ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ**

|  |
| --- |
| ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB |
| %% Load data - Split data  Data = readtable('airfoil\_self\_noise.dat');  data = Data{:,:};  preproc=1;  [trnData,chkData,tstData]=split\_scale(data,preproc);  Perf=zeros(2,4);  %% Evaluation function  Rsq = @(ypred,y) 1-sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  Nsq = @(ypred,y) sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  %% FIS with grid partition  fis=genfis1(trnData,2,'gbellmf','constant');  [trnFis,trnError,~,valFis,valError]=anfis(trnData,fis,[100 0 0.01 0.9 1.1],[],chkData);  plotmf(fis,'input',size(trnData,2)-1);  %% No Validation  figure(1);  plot(trnError,'LineWidth',2); grid on;  legend('Training Error');  xlabel('# of Iterations'); ylabel('Error');  title('ANFIS Hybrid Training - No Validation');  Y=evalfis(chkData(:,1:end-1),trnFis);  R2=Rsq(Y,chkData(:,end));  NMSE = Nsq(Y,chkData(:,end));  NDEI = sqrt(NMSE);  RMSE=sqrt(mse(Y,chkData(:,end)));  Perf(:,1)=[R2;RMSE];  figure(2);  plotmf(trnFis,'input',size(trnData,2)-1); |

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ:** **Ο ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ RMSE, NMSE, NDEI, R2 ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ANFIS Hybrid Training - Validation ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΩΝ ΑΣΑΦΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΥΟ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ**

|  |
| --- |
| ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB |
| %% Load data - Split data  Data = readtable('airfoil\_self\_noise.dat');  data = Data{:,:};  preproc=1;  [trnData,chkData,tstData]=split\_scale(data,preproc);  Perf=zeros(2,4);  %% Evaluation function  Rsq = @(ypred,y) 1-sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  Nsq = @(ypred,y) sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  %% FIS with grid partition  fis=genfis1(trnData,2,'gbellmf','constant');  [trnFis,trnError,~,valFis,valError]=anfis(trnData,fis,[100 0 0.01 0.9 1.1],[],chkData);  %% Validation  figure(3);  plot([trnError valError],'LineWidth',2); grid on;  xlabel('# of Iterations'); ylabel('Error');  legend('Training Error','Validation Error');  title('ANFIS Hybrid Training - Validation');  Y=evalfis(chkData(:,1:end-1),valFis);  NMSE = Nsq(Y,chkData(:,end));  NDEI = sqrt(NMSE);  R2=Rsq(Y,chkData(:,end));  RMSE=sqrt(mse(Y,chkData(:,end)));  Perf(:,2)=[R2;RMSE];  figure(4);  plotmf(valFis,'input',size(trnData,2)-1); |

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ:** **Ο ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ RMSE, NMSE, NDEI, R2 ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ANFIS Hybrid Training - No Validation ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΩΝ ΑΣΑΦΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ**

|  |
| --- |
| ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB |
| %% Load data - Split data  Data = readtable('airfoil\_self\_noise.dat');  data = Data{:,:};  preproc=1;  [trnData,chkData,tstData]=split\_scale(data,preproc);  Perf=zeros(2,4);  %% Evaluation function  Rsq = @(ypred,y) 1-sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  Nsq = @(ypred,y) sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  %% FIS with grid partition  fis=genfis1(trnData,3,'gbellmf','constant');  [trnFis,trnError,~,valFis,valError]=anfis(trnData,fis,[100 0 0.01 0.9 1.1],[],chkData);  plotmf(fis,'input',size(trnData,2)-1);  %% No Validation  figure(1);  plot(trnError,'LineWidth',2); grid on;  legend('Training Error');  xlabel('# of Iterations'); ylabel('Error');  title('ANFIS Hybrid Training - No Validation');  Y=evalfis(chkData(:,1:end-1),trnFis);  R2=Rsq(Y,chkData(:,end));  NMSE = Nsq(Y,chkData(:,end));  NDEI = sqrt(NMSE);  RMSE=sqrt(mse(Y,chkData(:,end)));  Perf(:,1)=[R2;RMSE];  figure(2);  plotmf(trnFis,'input',size(trnData,2)-1); |

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε:** **Ο ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ RMSE, NMSE, NDEI, R2 ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ANFIS Hybrid Training - Validation ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΩΝ ΑΣΑΦΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ**

|  |
| --- |
| ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB |
| %% Load data - Split data  Data = readtable('airfoil\_self\_noise.dat');  data = Data{:,:};  preproc=1;  [trnData,chkData,tstData]=split\_scale(data,preproc);  Perf=zeros(2,4);  %% Evaluation function  Rsq = @(ypred,y) 1-sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  Nsq = @(ypred,y) sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  %% FIS with grid partition  fis=genfis1(trnData,3,'gbellmf','constant');  [trnFis,trnError,~,valFis,valError]=anfis(trnData,fis,[100 0 0.01 0.9 1.1],[],chkData);  %% Validation  figure(3);  plot([trnError valError],'LineWidth',2); grid on;  xlabel('# of Iterations'); ylabel('Error');  legend('Training Error','Validation Error');  title('ANFIS Hybrid Training - Validation');  Y=evalfis(chkData(:,1:end-1),valFis);  NMSE = Nsq(Y,chkData(:,end));  NDEI = sqrt(NMSE);  R2=Rsq(Y,chkData(:,end));  RMSE=sqrt(mse(Y,chkData(:,end)));  Perf(:,2)=[R2;RMSE];  figure(4);  plotmf(valFis,'input',size(trnData,2)-1); |

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΤ:** **Ο ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ RMSE, NMSE, NDEI, R2 ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ANFIS polynomial Training - No Validation ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΩΝ ΑΣΑΦΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΥΟ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ**

|  |
| --- |
| ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB |
| %% Load data - Split data  Data = readtable('airfoil\_self\_noise.dat');  data = Data{:,:};  preproc=1;  [trnData,chkData,tstData]=split\_scale(data,preproc);  Perf=zeros(2,4);  %% Evaluation function  Rsq = @(ypred,y) 1-sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  Nsq = @(ypred,y) sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  %% FIS with grid partition  fis=genfis1(trnData,2,'gbellmf','linear');  [trnFis,trnError,~,valFis,valError]=anfis(trnData,fis,[100 0 0.01 0.9 1.1],[],chkData);  plotmf(fis,'input',size(trnData,2)-1);  %% No Validation  figure(1);  plot(trnError,'LineWidth',2); grid on;  legend('Training Error');  xlabel('# of Iterations'); ylabel('Error');  title('ANFIS Hybrid Training - No Validation');  Y=evalfis(chkData(:,1:end-1),trnFis);  R2=Rsq(Y,chkData(:,end));  NMSE = Nsq(Y,chkData(:,end));  NDEI = sqrt(NMSE);  RMSE=sqrt(mse(Y,chkData(:,end)));  Perf(:,1)=[R2;RMSE];  figure(2);  plotmf(trnFis,'input',size(trnData,2)-1); |

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Z:** **Ο ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ RMSE, NMSE, NDEI, R2 ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ANFIS polynomial Training – Validation ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΩΝ ΑΣΑΦΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΥΟ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ**

|  |
| --- |
| ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB |
| %% Load data - Split data  Data = readtable('airfoil\_self\_noise.dat');  data = Data{:,:};  preproc=1;  [trnData,chkData,tstData]=split\_scale(data,preproc);  Perf=zeros(2,4);  %% Evaluation function  Rsq = @(ypred,y) 1-sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  Nsq = @(ypred,y) sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  %% FIS with grid partition  fis=genfis1(trnData,2,'gbellmf','linear');  [trnFis,trnError,~,valFis,valError]=anfis(trnData,fis,[100 0 0.01 0.9 1.1],[],chkData);  plotmf(fis,'input',size(trnData,2)-1);  %% Validation  figure(3);  plot([trnError valError],'LineWidth',2); grid on;  xlabel('# of Iterations'); ylabel('Error');  legend('Training Error','Validation Error');  title('ANFIS Polynomial Training - Validation');  Y=evalfis(chkData(:,1:end-1),valFis);  NMSE = Nsq(Y,chkData(:,end));  NDEI = sqrt(NMSE);  R2=Rsq(Y,chkData(:,end));  RMSE=sqrt(mse(Y,chkData(:,end)));  Perf(:,2)=[R2;RMSE];  figure(4);  plotmf(valFis,'input',size(trnData,2)-1); |

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Η:** **Ο ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ RMSE, NMSE, NDEI, R2 ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ANFIS polynomial Training – No Validation ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΩΝ ΑΣΑΦΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ**

|  |
| --- |
| ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB |
| %% Load data - Split data  Data = readtable('airfoil\_self\_noise.dat');  data = Data{:,:};  preproc=1;  [trnData,chkData,tstData]=split\_scale(data,preproc);  Perf=zeros(2,4);  %% Evaluation function  Rsq = @(ypred,y) 1-sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  Nsq = @(ypred,y) sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  %% FIS with grid partition  fis=genfis1(trnData,3,'gbellmf','linear');  [trnFis,trnError,~,valFis,valError]=anfis(trnData,fis,[100 0 0.01 0.9 1.1],[],chkData);  plotmf(fis,'input',size(trnData,2)-1);  %% No Validation  figure(1);  plot(trnError,'LineWidth',2); grid on;  legend('Training Error');  xlabel('# of Iterations'); ylabel('Error');  title('ANFIS Polynomial Training - No Validation');  Y=evalfis(chkData(:,1:end-1),trnFis);  R2=Rsq(Y,chkData(:,end));  NMSE = Nsq(Y,chkData(:,end));  NDEI = sqrt(NMSE);  RMSE=sqrt(mse(Y,chkData(:,end)));  Perf(:,1)=[R2;RMSE];  figure(2);  plotmf(trnFis,'input',size(trnData,2)-1); |

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Θ:** **Ο ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ RMSE, NMSE, NDEI, R2 ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ANFIS polynomial Training - Validation ΚΑΙ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΩΝ ΑΣΑΦΩΝ ΣΥΝΟΛΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΡΙΩΝ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ ΣΥΜΜΕΤΟΧΗΣ**

|  |
| --- |
| ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB |
| %% Load data - Split data  Data = readtable('airfoil\_self\_noise.dat');  data = Data{:,:};  preproc=1;  [trnData,chkData,tstData]=split\_scale(data,preproc);  Perf=zeros(2,4);  %% Evaluation function  Rsq = @(ypred,y) 1-sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  Nsq = @(ypred,y) sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  %% FIS with grid partition  fis=genfis1(trnData,3,'gbellmf','linear');  [trnFis,trnError,~,valFis,valError]=anfis(trnData,fis,[100 0 0.01 0.9 1.1],[],chkData);  plotmf(fis,'input',size(trnData,2)-1);  %% Validation  figure(3);  plot([trnError valError],'LineWidth',2); grid on;  xlabel('# of Iterations'); ylabel('Error');  legend('Training Error','Validation Error');  title('ANFIS Polynomial Training - Validation');  Y=evalfis(chkData(:,1:end-1),valFis);  NMSE = Nsq(Y,chkData(:,end));  NDEI = sqrt(NMSE);  R2=Rsq(Y,chkData(:,end));  RMSE=sqrt(mse(Y,chkData(:,end)));  Perf(:,2)=[R2;RMSE];  figure(4);  plotmf(valFis,'input',size(trnData,2)-1); |

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι:** **Ο ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ RMSE, NMSE, NDEI, R2 ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ Scatter Partition - Subtractive Clustering**

|  |
| --- |
| ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB |
| %% Load data - Split data  Data = readtable('train.csv');  data = Data{:,:};  preproc=1;  [trnData,chkData,tstData]=split\_scale(data,preproc);  Perf=zeros(2,4);  %% Evaluation function  Rsq = @(ypred,y) 1-sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  Nsq = @(ypred,y) sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  %% Scatter Partition - Subtractive Clustering  fis=genfis2(trnData(:,1:end-1),trnData(:,end),0.5);  plotmf(fis,'input',size(trnData,2)-1);  [trnFis,trnError,~,valFis,valError]=anfis(trnData,fis,[100 0 0.01 0.9 1.1],[],chkData);  figure(1);  plot([trnError valError],'LineWidth',2); grid on;  xlabel('# of Iterations'); ylabel('Error');  legend('Training Error','Validation Error');  title('ANFIS Hybrid Training - Validation');  Y=evalfis(chkData(:,1:end-1),valFis);  NMSE = Nsq(Y,chkData(:,end));  NDEI = sqrt(NMSE);  R2=Rsq(Y,chkData(:,end));  RMSE=sqrt(mse(Y,chkData(:,end)));  Perf(:,3)=[R2;RMSE];  figure(2);  plotmf(valFis,'input',size(trnData,2)-1); |

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Κ:** **Ο ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ RMSE, NMSE, NDEI, R2 ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ Scatter Partition - Fuzzy C-Means**

|  |
| --- |
| ΚΩΔΙΚΑΣ MATLAB |
| %% Load data - Split data  Data = readtable('train.csv');  data = Data{:,:};  preproc=1;  [trnData,chkData,tstData]=split\_scale(data,preproc);  Perf=zeros(2,4);  %% Evaluation function  Rsq = @(ypred,y) 1-sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  Nsq = @(ypred,y) sum((ypred-y).^2)/sum((y-mean(y)).^2);  %% Scatter Partition - Fuzzy C-Means  fis=genfis3(trnData(:,1:end-1),trnData(:,end),'sugeno',12);  [trnFis,trnError,~,valFis,valError]=anfis(trnData,fis,[100 0 0.01 0.9 1.1],[],chkData);  figure(7);  plot([trnError valError],'LineWidth',2); grid on;  xlabel('# of Iterations'); ylabel('Error');  legend('Training Error','Validation Error');  title('ANFIS Hybrid Training - Validation');  Y=evalfis(chkData(:,1:end-1),valFis);  NMSE = Nsq(Y,chkData(:,end));  NDEI = sqrt(NMSE);  R2=Rsq(Y,chkData(:,end));  RMSE=sqrt(mse(Y,chkData(:,end)));  Perf(:,4)=[R2;RMSE];  figure(8);  plotmf(valFis,'input',size(trnData,2)-1); |