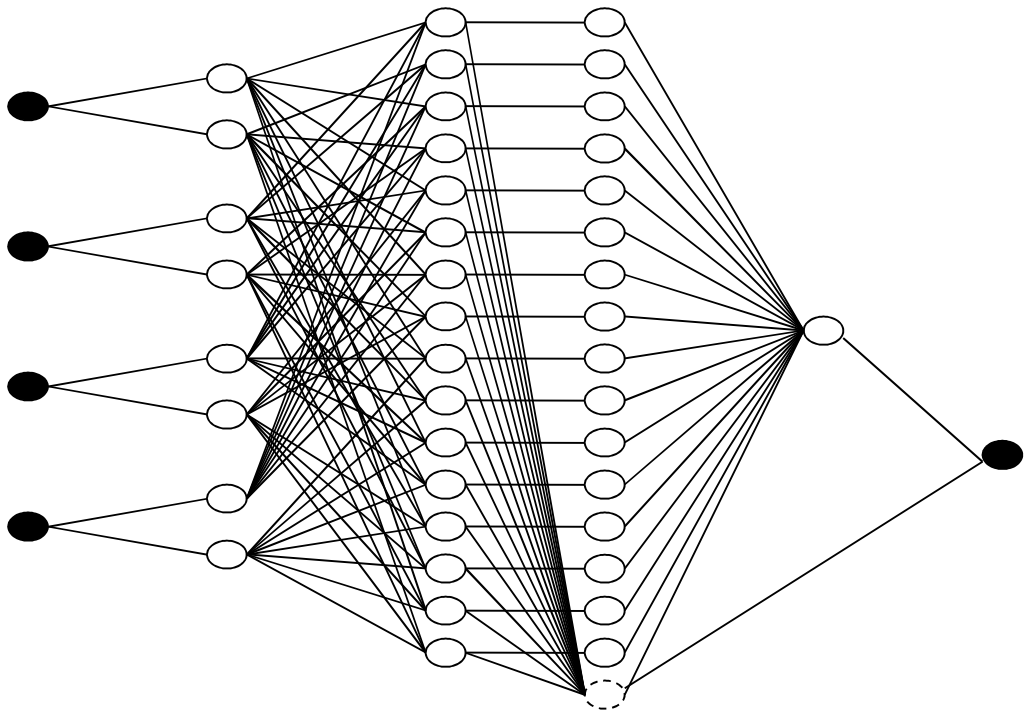




ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

Πτυχιακή Εργασία:

«Προσαρμοστικά Συστήματα Μετρήσεων»



Όνομα Επιμελητή: Τζοβάρης Νικόλαος Α.Μ.: 2804

Επιβλέπων Καθηγητής: Κωνσταντάρας Αντώνιος

Χανιά 2014

μ

1	.....	4
2	.....	8
2.1	.....	8
2.2	μ	9
2.3	μ μ	15
2.3.1	μ	15
2.3.2	.....	20
2.4	.....	21
3	μ μ μ μ μ	22
3.1	.....	22
3.2	.....	22
3.3	.....	25
3.3.1	μ μ	25
3.3.2	μ	27
3.3.3	If – Then	29
3.3.4	μ T-norm Operator.....	31
3.3.5	Sugeno μ μ μ	32
3.4	- μ	33
3.4.1	μ Grid.....	35
3.4.2	μ	36

3.4.3	-	37
3.5	μ	40
3.5.1	Backpropagation μ μ	40
3.5.2	μ	45
3.5.3	μ μ :	μ μ
Backpropagation	μ	48
3.6		50
4	μ	51
4.1	Εισαγωγή	51
4.2	Η μέθοδος μαγνητοτελλουρικής και οι εξισώσεις του Maxwell	52
4.3	μ μ	53
4.4	μ Tensor	55
4.5	μ	57
4.6	μ	58
4.7	μ μ	62
4.8	Περίληψη	64
Κεφάλαιο 5	Πειράματα και συμπεράσματα	66
5.1	Πειράματα	67
5.2	Συμπεράσματα	97
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	98
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β	Cd-rom	

1 :

Το πρόβλημα για την επίτευξη πρόβλεψης σεισμών , απασχολεί για πολλά χρόνια τους σεισμολόγους. Για αρκετές δεκαετίες στον τελευταίο αιώνα υπήρξε λίγη γνώση ως προς την αιτία των σεισμών και η έρευνα στράφηκε προς τη χαρτογράφηση των ενεργών σεισμολογικών περιοχών του πλανήτη.^[1] Τα αποτελέσματα ήταν μάλλον οξυδερκή δεδομένου ότι αποκαλύφθηκε ότι η μεγάλη πλειοψηφία των σεισμών πραγματοποιούταν στις περιοχές στα σύνορα των τεκτονικών πλακών της εξωτερικής κρούστας της γης, ενώ ένας μικρός αριθμός σεισμών εμφανίστηκε λόγω της έκρηξης των ηφαιστείων, και πολύ σπάνια λόγω των καταρρεύσεων σε υπόγειες σπηλιές.

Στην ιδιαίτερη περιοχή της Μεσογείου ένα πιο άγριο γεγονός πραγματοποιείται, «**η βύθιση του αφρικανικού πιάτου κάτω από το ευρασιατικό πιάτο**» [2.3]. Η περιοχή είναι ιδιαίτερα σεισμογενής και οι σεισμοί υπερβαίνουν συχνά στο μέγεθος 7 Ms στην κλίμακα Richter που γίνεται μια από τις πιο έντρομες φυσικές καταστροφές του ανθρώπου.

Η κίνηση της αφρικάνικης τεκτονικής πλάκας κάτω από την ευρασιατική πλάκα γεννά έναν μεγάλο αριθμό υπόγειων φυσικών κινδύνων ^[4] των οποίων το μήκος ποικίλλει από διάφορες δεκάδες μέτρα σε διάφορες δεκάδες χιλιόμετρα. Επιπλέον, τα τεράστια ποσά ενέργειας παράγονται λόγω της τριβής μεταξύ των πλακών. Αυτή η ενέργεια δεν φθάνει αμέσως στην επιφάνεια του πλανήτη. Αντίθετα, τα μεγάλα ποσά εκείνης της ενέργειας αποθηκεύονται στους υπόγειους φυσικούς κινδύνους, οι οποίοι ενεργούν ως ενεργειακοί **τραπεζίτες** που επιτρέπουν στην ενεργειακή αποθήκευση να ενισχυθεί ενώ η κίνηση των πλακών συνεχίζεται και παράγεται περισσότερη ενέργεια λόγω της τριβής.

Τελικά αυτοί οι **τραπεζίτες** φθάνουν σε ένα όριο αποθήκευσης ενέργειας και απελευθερώνεται κάποια ενέργεια ενώ κάποια άλλη αποθηκεύεται. Είναι η απελευθέρωση των σημαντικών ποσών εκείνης της ενέργειας στην επιφάνεια του πλανήτη που προκαλεί τον επικείμενο σεισμό. Το ποσό απελευθερωμένης ενέργειας μαζί με το υπόγειο βάθος (επίκεντρο) της θέσης του κινδύνου, και η συνέπεια του επίγειου υλικού είναι οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν το μέγεθος του επικείμενου σεισμού.

Για αρκετές δεκαετίες οι αδύνατες ηλεκτρικές παροδικές πιθανές ανωμαλίες ήταν γνωστές για να εμφανίζονται συχνά πριν από έναν σεισμό. Η σχέση αυτών των σημάτων με τα επικείμενα σεισμικά γεγονότα ήρθε με την ανάπτυξη της θεωρίας της διάδοσης των

ρωγμών [5.6]. Σύμφωνα με τη θεωρία ρωγμών διάδοσης, κατά τη διάρκεια των προπαρασκευαστικών σταδίων της σεισμικής διαδικασίας μέρος της ενέργειας που προκαλείται, αποθηκεύεται και η απελευθέρωση εκείνης της ενέργειας οδηγεί σε διάφορες μικρορωγμές στις πλάκες, η διάδοση των οποίων παράγει ουσιαστικά ένα αδύνατο ηλεκτρικό σήμα. Αυτοί οι τύποι σημάτων, γνωστοί ως ηλεκτρικοί πρόδρομοι σεισμού (EEPs) [7], εμφανίζονται στο γήινο ηλεκτρικό πεδίο, ο έλεγχος του οποίου έχει επιβεβαιώσει ότι τα σήματα EEP προηγούνται των σεισμικών γεγονότων.

Τα σήματα EEP είναι αδύνατα σήματα που διαρκούν για αρκετές δεκάδες λεπτά και χάνονται συχνά μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο. Η αναγνώρισή τους περιπλέκεται περαιτέρω από τους διαφορετικούς τύπους θορύβων, όπως ο θόρυβος **magnetotelluric** προέλευσης, βροχής, ανθρωπογενούς θορύβου, κλπ... [8]. Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να αναπτυχθεί ένα σύστημα αναγνώρισης σχεδίων για να αναγνωρίσει οποιαδήποτε σήματα EEP που να εμφανιστούν στις καταγραφές ηλεκτρικών πεδίων embedded-in-noise. Επιπλέον και προκειμένου να βοηθήσει με τον κύριο στόχο, αυτή η εργασία εξετάζει επίσης τους τρόπους να μειωθούν τα επίπεδα θορύβου που παρουσιάζονται επάνω στο ηλεκτρικό πεδίο χωρίς διαστρέβλωση πιθανού παρόντος EEPs.

Για αυτόν τον σκοπό η κοινή ενσωμάτωση των νευρικών δικτύων και της συγκεχυμένης λογικής υπό μορφή προσαρμοστικών neuro-fuzzy inference systems (ANFIS) [9] κρίθηκε απαραίτητη. Τα νευρικά δίκτυα είναι ευρέως γνωστά για τις ικανότητες αναγνώρισης σχεδίων τους και θα ήταν τέλεια σε θέση τα σήματα EEP από μόνα τους εκτός από το γεγονός ότι EEPs ποικίλλουν από την άποψη του μεγέθους και της διάρκειας. Για να υπερνικήσει αυτό το εμπόδιο ένα μέσο πρότυπο EEP έχει προσδιοριστεί και το νευρικό δίκτυο ενισχύεται πραγματικά με τις ενσωματωμένες ικανότητες συγκεχυμένης λογικής. Η εισαγωγή της ασάφειας στο σύστημα επιτρέπει τα σήματα ότι κατά προσέγγιση το μέσο πρότυπο EEP που ταξινομείται ως EEPs, ενώ τα σήματα που μιμούνται EEPs, και μπόρεσαν να έχουν μπερδευτεί υπό αυτήν τη μορφή, αλλά δεν προσεγγίζουν αρκετά το μέσο πρότυπο EEP, καταστέλλονται.

Το ANFIS έχει αποδειχθεί για να είναι καθολικό προσεγγιστικό [10] ότι μπορεί να ταιριάζει με οποιοδήποτε είσοδο-έξοδο από σύνολο στοιχείων που παρέχει το σύστημα, να εκπαιδεύεται επαρκώς. Η ιδέα πίσω από την ενσωμάτωση ANFIS για την αναγνώριση EEPs είναι να ταιριαχτεί με ένα σύνολο δεδομένων εισόδου που αποτελείται από τις καταγραφές

του ηλεκτρικού πεδίου από ένα σύνολο δεδομένων εξόδου που πρέπει να είναι μηδέν εάν κανένα EEPs δεν είναι παρόν και ένα αντίγραφο του υπάρχοντος EEP εάν ένα EEP είναι παρόν.

Ένα σύστημα για την αποκατάσταση των σημάτων EEP θα ήταν αναξιόπιστο εάν η ανάπτυξη του πραγματοποιήθηκε άμεσα χρησιμοποιώντας τα πραγματικά στοιχεία μόνο, δεδομένου ότι κάποιο δεν μπορεί να είναι σίγουρο εάν όλα EEPs έχουν ταξινομηθεί επιτυχώς, ή εάν ένα σήμα μη-EEP έχει ταξινομηθεί ως EEP. Για εκείνο τον σκοπό, ένας αρχικός στόχος αυτής της διατριβής ήταν να μελετηθεί και να μιμηθεί το γήινο μαγνητικό πεδίο, συμπεριλαμβανομένου του θορύβου, και **tensor** γήινης σύνθετης αντίστασης σε ένα σημείο παρατήρησης, και από αυτούς για να παραγάγουν τα μιμούμενα σήματα ηλεκτρικών πεδίων σύμφωνα με τη magnetotelluric μέθοδο [11.12]. Στη συνέχεια, ο προσομοιωμένος θόρυβος και τα σήματα EEP προστέθηκαν στα σήματα ηλεκτρικών πεδίων για να παραγάγουν τα σήματα που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη των νεύρο-συγκεχυμένων προτύπων. Κατ' αυτό τον τρόπο η θέση και η διάρκεια των σημάτων EEP είναι γνωστές κατά τη διάρκεια της κατάρτισης και της ανάπτυξης συστημάτων, και η απόδοση συστημάτων αξιολογείται με εμπιστοσύνη.

Αυτή η έρευνα έχει διεξαχθεί σε συνεργασία με το εργαστήριο της γεωφυσικής και των φυσικών κινδύνων του τμήματος εφαρμοσμένης μηχανικής των φυσικών πόρων στο τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Κρήτης, Ελλάδα. Ο ρόλος των συνεργατών ήταν να παράσχουν τα στοιχεία των πραγματικών καταγραφών του ηλεκτρικού πεδίου, και τη θεωρητική γνώση υποβάθρου σχετικά με τις πτυχές γεωφυσικής αυτής της διατριβής. Το λογισμικό για την προσομοίωση του γήινου μαγνητικού πεδίου, του ηλεκτρικού πεδίου, και **tensor** σύνθετης αντίστασης καθώς επίσης και της προσομοίωσης των σημάτων θορύβου και EEP που αναπτύχθηκαν σε αυτήν την έρευνα, και που περιεγράφηκαν σε αυτήν την διατριβή, ήταν εξ ολοκλήρου η εργασία του συντάκτη που βρέθηκε επάνω στην προέλευση και τα κύρια χαρακτηριστικά των σημάτων που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία. Τα neuro-fuzzy συστήματα, οι τεχνικές για την αναγνώριση του EEP επισημαίνουν τον ενσωματωμένο θόρυβο στο ηλεκτρικό πεδίο, και τις τεχνικές για τη μείωση των επιπέδων θορύβου στα διαστρεβλωμένα σήματα ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων που αναπτύσσονται σε αυτήν την έρευνα.

2:

2.1 Εισαγωγή

Πριν από έναν σεισμό, που είναι ένα αποτέλεσμα της σύγκρουσης μεταξύ δύο πλακών της γης, υπάρχει αποθήκευση ενέργειας στη σειсмоγενή περιοχή. Η απελευθέρωση ενός σημαντικού ποσού αυτής της ενέργειας προκαλεί έναν σεισμό. Μερική από αυτήν την ενέργεια προκαλείται στο προπαρασκευαστικό στάδιο της σεισμικής διαδικασίας [4]. Η απελευθέρωση αυτής της ενέργειας οδηγεί σε διάφορα **micro-cracks**, που παράγουν ουσιαστικά ένα αδύνατο ηλεκτρικό σήμα, σύμφωνα με τη θεωρία της διάδοσης των ρωγμών [6.13.14]. Αρχικά, υπάρχει μια γρήγορη άνοδος στον αριθμό διάδοσης των ρωγμών, ο οποίος δημιουργεί ένα παροδικό ηλεκτρικό πεδίο. Ολόκληρη η διαδικασία διαρκεί αρκετά δεκάδες λεπτά και το προκύπτον ηλεκτρικό σήμα θεωρείται ως ηλεκτρικός πρόδρομος σεισμού (EEP). Τέτοια σήματα μπορούν να παρατηρηθούν στις μετρήσεις του ηλεκτρικού πεδίου της γης, και παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον για τη σεισμολογική κοινότητα. Εντούτοις EEPs είναι σχετικά αδύνατα όσον αφορά το ηλεκτρικό υπόβαθρο και η παρουσία τους είναι όχι πάντα σαφής [7.15.16]. Επιπλέον, η αξιόπιστη αναγνώριση EEPs περιπλέκεται περαιτέρω από το θόρυβο (π.χ. θόρυβος magnetotelluric προέλευσης που προκαλούνται κυρίως από τις μαγνητικές θύελλες, ηλεκτροχημικός θόρυβος λόγω της αλλαγής στη δυνατότητα επαφών μεταξύ των ηλεκτροδίων και του εδάφους κατά τη διάρκεια και μετά από της βροχής, ανθρωπογενής θόρυβος κυρίως λόγω των ρευματοδοτών κοντά στο σταθμό παρατήρησης). Το πιο σημαντικό εν τούτοις, η αξιόπιστη αναγνώριση αποτρέπεται κυρίως από την ίδια την φύση των σημάτων EEP [17]. Τα EEPs ποικίλλουν αρκετά από την άποψη του μεγέθους και της διάρκειας. Τα χαμηλά σεισμικά μεγέθους γεγονότα παράγουν συχνά τα πιο αδύνατα σήματα EEP από εκείνα που προηγούνται ενός αρκετά μεγάλου σεισμού. Επιπλέον τα σήματα EEP ποικίλλουν στη διάρκεια, που διαρκεί από λίγα έως και πολλά δεκάδες λεπτά, χωρίς οποιοδήποτε σχέδιο που προκύπτει που αφορά τους με το μέγεθος του προσεχούς σεισμικού γεγονότος.

Αυτό το κεφάλαιο παρέχει μια λεπτομερή ανάλυση του τρέχοντος μηχανισμού παραγωγής στους βράχους διά πίεση σύμφωνα με τη θεωρία της διάδοσης των ρωγμών [5.6], μιας λεπτομερούς περιγραφής του **telemetric** συστήματος για τη μέτρηση των ηλεκτρικών παραλλαγών στο ηλεκτρικό πεδίο [18], και συζητά την επίδραση των μαγνητικών,

ηλεκτροχημικών και μορφωτικών διαταραχών [16] στο ηλεκτρικό πεδίο όσον αφορά την αξιόπιστη αναγνώριση των ηλεκτρικών προδρόμων σεισμού.

2.2 Διάδοση της θεωρίας ρωγμών

Η υπερβολή ή η απουσία ενός μισό-αεροπλάνου των ατόμων στις κρυστάλλινες δομές διαμορφώνει τις εξαρθρώσεις. Η άκρη αυτού του μισό-αεροπλάνου περιλαμβάνει μια γραμμή εξάρθρωσης γύρω από την οποία οι σχετικοί φυσικοί τομείς συγκεντρώνονται. Οι ιοντικές δομές έχουν μια σειρά των ιόντων υπερβολικών ή απόντων σύμφωνα με τη γραμμή εξάρθρωσης με συνέπεια τις χρωσμένες εξαρθρώσεις. Στη θερμική ισορροπία, οι γραμμές εξάρθρωσης είναι ηλεκτρικά ουδέτερες, αλλά στις δυναμικές διαδικασίες, δηλ. οι κινούμενες εξαρθρώσεις, ουδετερότητα δεν μπορούν πλέον να διατηρηθούν.

Αφήστε ρ^+ να είναι η πυκνότητα των εξαρθρώσεων ακρών του απαραίτητου τύπου για να προσαρμόσει την υπιάξια συμπίεση και ρ^- να είναι η πυκνότητα των εξαρθρώσεων του αντίθετου τύπου για να προσαρμόσει την υπιάξια επέκταση.

Η εγκάρσια πόλωση π παράγεται λόγω της κίνησης των χρωσμένων εξαρθρώσεων σύμφωνα με την εξίσωση (2.1) [6]:

$$P = (\rho^+ - \rho^-) q_l \frac{u_x}{\sqrt{2}} \quad (2.1)$$

όπου το q_l είναι η δαπάνη ανά μήκος μονάδων στην πραγματική εξάρθρωση και u_x είναι η απόσταση που η εξάρθρωση έχει κινήσει.

Η πλαστική συμβολή στην πίεση, v_p , μέσω της κίνησης μιας εξάρθρωσης πέρα από μια απόσταση u_x δίνεται από [6]:

$$v_p = (\rho^+ + \rho^-) b \frac{u_x}{2} \quad (2.2)$$

όπου το b είναι το **burger** διάνυσμα που δείχνει το μέγεθος και την κατεύθυνση μιας διαστρέβλωσης δικτυωτού πλέγματος

Εξ ορισμού, το ποσοστό αλλαγής της πόλωσης στο χρόνο (t) είναι ισοδύναμο με την ηλεκτρική πυκνότητα ρεύματος:

$$J_p = \frac{\partial P}{\partial t} \quad (2.3)$$

Εκ των οποίων (2.1) και (2.2) έχουμε:

$$J_p = \frac{\sqrt{2}}{S} \frac{q_l}{b} v_p' \quad (2.4)$$

Όπου $S = \frac{]^{+} +]^{-}}{]^{+} -]^{-}}$ είναι μια σταθερά συνήθως μεταξύ 1 και 1.5. Η εξίσωση (2.4) αφορά το ποσοστό αλλαγής μιας ορισμένης παραμόρφωσης v_p' με την παρατηρηθείσα παροδική ηλεκτρική παραλλαγή. Μια αύξηση του ποσοστού παραμόρφωσης σε ένα μεταβλητό ποσοστό, δηλ. $v_p' > 0$ και $v_p'' \neq 0$, αποτελέσματα σε μια αύξηση της παρατηρηθείσας παραλλαγής ηλεκτρικών πεδίων, $E' > 0$, εάν $v_p'' > 0$, Αφ' ετέρου εάν $v_p'' < 0$ έπειτα υπάρχει μια μείωση στην παρατηρηθείσα ηλεκτρική παραλλαγή πεδίων, $E' < 0$. Στην περίπτωση όπου $v_p' > 0$ και $v_p'' = 0$, το ποσοστό παραμόρφωσης v_p' είναι σταθερά και, επομένως, είναι έτσι το ηλεκτρικό πεδίο E .

Η πυκνότητα δαπανών για διάφορα αλκαλικά και ασημένια αλογονίδια έχει συναχθεί πειραματικά της τάξεως του $0,1 \text{ } \epsilon / \text{του } \alpha_{[19]}$ όπου το ϵ είναι η ηλεκτρονική δαπάνη και το διάστημα δικτυωτού πλέγματος. Να υποθέσουν οι συγκρίσιμοι αριθμοί για τους βράχους, δηλ. πλέκουν το διάστημα $\alpha \approx 5 \times 10^{-10} \text{ } \mu$, έπειτα η πυκνότητα δαπανών ανά μήκος $q \text{ } \lambda$ μονάδων είναι της διαταγής $3 \times 10^{-11} \text{ C/m } [20]$. Υποθέτοντας που $\dagger' \approx Yv'$, όπου \dagger είναι αγωγιμότητα του υλικού και το Y είναι ο νέος συντελεστής $[21]$, ο συντελεστής ευαισθησίας πίεσης του υλικού δίνεται από:

$$F = \frac{E}{d\dagger / dt} \approx \frac{\sqrt{2}}{S} \frac{q_l}{b} \frac{\dots}{Y} \quad (2.5)$$

όπου το ϵ είναι το παρατηρηθέν ηλεκτρικό πεδίο και ... η συγκεκριμένη ειδική αντίσταση του υλικού.

Μια εκτίμηση της διαταγής του συντελεστή πίεσης μπορεί να ληφθεί με την εισαγωγή των χαρακτηριστικών τιμών που βρίσκονται στη λογοτεχνία όπως το $\beta \approx 5 \times 10^{-10} \mu$ [20], ... $\approx 10^7$ Ωμ και $\gamma \approx 0,8 \text{ Mbar}$ [22], δίνοντας το $\epsilon / (\delta \uparrow / DT) \approx 0,75$. Αυτή η αξία είναι άμεσα συγκρίσιμη με το συντελεστή ευαισθησίας πίεσης διάφορων βράχων που υπολογίζεται που χρησιμοποιούν τα πειραματικά στοιχεία [23] που παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Type of rock	$E/(d\uparrow / dt)$
Ioannina limestone	0.70
Granite (sample A)	0.46
Granite (sample B)	0.32
Mineral quartz	1.14

Πίνακας 1 συντελεστές ευαισθησίας πίεσης για τους διάφορους τύπους βράχων [6]

Σύμφωνα με το μοντέλο κινούμενων φορτισμένων μετατοπίσεων (MCD) [20] όλοι οι βράχοι περιέχουν κρυσταλλικά υλικά τα οποία φέρουν ήδη γραμμικά ελαττώματα είτε εκ φύσεως είτε λόγω προηγούμενων κύκλων παραμόρφωσης. Μια σεισμική ζώνη περιλαμβάνει έναν όγκο γεμάτο ρωγμές, δηλαδή συγκέντρωση ρωγμών, αλλιώς γνωστή ως πίνακες εξαρθρώσεων. Η μη γραμμική εξέλιξη του στρες (παρασκευή ενός σεισμού) και την απελευθέρωση της ενέργειας (εμφάνιση ενός σεισμού) καθορίζονται από την εξέλιξη, τον πολλαπλασιασμό και πυρήνων αυτών των ελαττωμάτων και τις αλλαγές πυκνότητας τους.

Αυτό το μοντέλο της πηγής σεισμού επιτρέπει για την παραγωγή του ηλεκτρικού ρεύματος κατά τη διάρκεια των σταδίων παρασκευής ενός σεισμού. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ανάλογη με την ταχύτητα διαδόσεως και με την πυκνότητα των κινούμενων μετατοπίσεων. Δεδομένου ότι το τρέχον διάνυσμα της πυκνότητας είναι παράλληλο προς το διάνυσμα της ταχύτητας, η οριζόντια συνιστώσα του ηλεκτρικού πεδίου που προκύπτει από μία μετατόπιση και μετρήθηκαν σε ένα σημείο επί της επιφανείας, με επικεντρική απόσταση χ και κατά το χρόνο t_k προσεγγίζεται με τον ακόλουθο τύπο:

$$E(x, t_k) \approx sf_l \dots \sum_i (\dots_{di} u_{mi}) \frac{x - x_i(t_k)}{R_i^n(t_k)} \quad (2.6)$$

όπου ρ είναι η ειδική αντίσταση του υλικού του εδάφους, R_i είναι η απόσταση του σημείου παρατήρησης από την κινούμενη μετατόπιση βρίσκεται στο x_i , $n = 2$ για μία γραμμική πηγή, ρ_{di} είναι η φορτισμένη πυκνότητα εξάρθρωσης στο σημείο x_i , U_{mi} είναι η ταχύτητα εξάρθρωσης στο x_i , s είναι ένας συντελεστής ευαισθησίας στην θέση του δέκτη και FL είναι συντελεστής εξαρτώμενος από τη γεωμετρία της πηγής [24].

Το πρόβλημα με αυτή τη θεωρία είναι ότι η παραγωγή φορτίου και την τρέχουσα παραγωγή από ένα απλό άνοιγμα είναι μια βραχύβια δράση. Για τις κοινές αντιστάσεις των πετρωμάτων και των διηλεκτρικών σταθερών, για κάθε φόρτιση και ηλεκτρομαγνητική διακύμανση που προκύπτουν από μία τυπική μετατόπιση,

Π.χ. Διάσταση πηγής $l \approx 10^{-4}$ έως 10^{-1} m, θα εξαφανιστεί σε $t_e \approx 10^{-5}$ t έως 10^{-7} s, το οποίο είναι συγκρίσιμο με τη διάρκεια της ανοίγματος της ρωγμής, συνήθως 10^{-4} έως 10^{-7} s. Η ανακατανομή των ρευμάτων μετατόπισης εκμηδενίζει κάθε παραγωγή φορτίου στο εσωτερικό της ρωγμής, και ως αποτέλεσμα της τρέχουσας εμφανίζεται μόνο όταν διαδίδεται η ρωγμή. Η γενιά των μακράς διάρκειας EEPs βασίζεται στην υπέρθεση των σημάτων από όλες τις ταυτόχρονα δημιουργημένες ρωγμές στην κοντινή σεισμογενή περιοχή, και εξελίσσεται στο χρόνο όπως ακριβώς και η διάδοση ρωγμών. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή, το ηλεκτρικό πεδίο που μετράται σε ένα σημείο στην επιφάνεια της Γης βρίσκεται σε απόσταση r από την πηγή και κατά το χρόνο t_j μπορεί να εκφραστεί ποσοτικά ως:

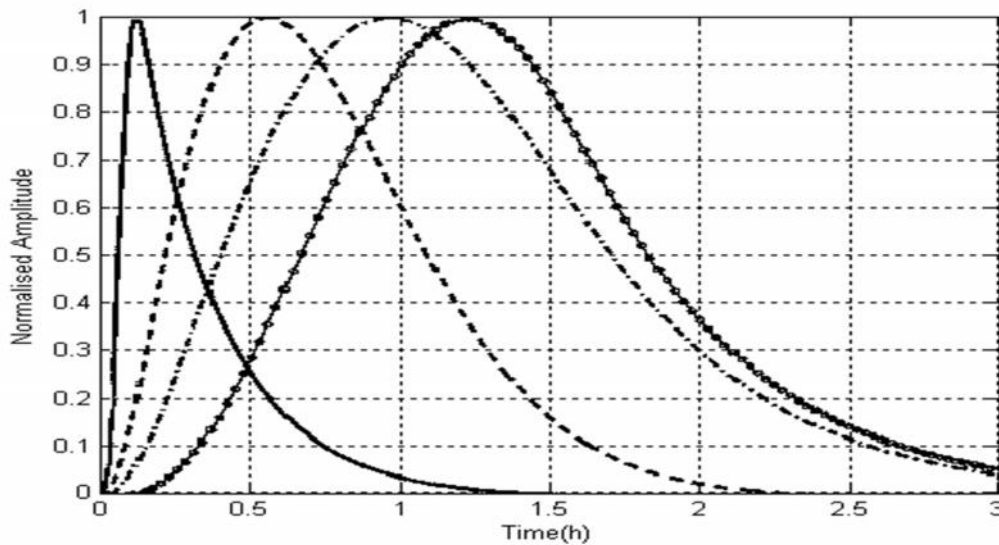
$$E(r, t_j) \approx c_s \sum_{i=1}^{\dot{n}(t_j)} [\dots_i (J_{MCD} + J_0)_i G(r, r_i)] \left[u(t_j) - u\left(t_j - \frac{l_i}{u_i}\right) \right] \quad (2.7)$$

όπου $\dot{n}(t_j)$ είναι ο αριθμός των ενεργών ρωγμών τη στιγμή t_j , c_s είναι ένας συντελεστής ευαισθησίας στην r θέση του δέκτη, ενώ $G(r, r_i)$ περιγράφει την δημιουργία και την εξασθένηση του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται από μία κινούμενη φορτισμένη μετατόπιση που οφείλεται σε ένα σημείο ανοίγματος της ρωγμής r_i . $u(t_j)$ είναι η συνάρτηση Heaviside, l_i είναι το μήκος διάδοσης ρωγμών και το u_i είναι η ταχύτητα ανοίγματος αυτής, έτσι ώστε ο κανόνας του δεξιού χεριού στο άθροισμα επιτρέπει στη i th ρωγμή να συμβάλλει μόνο κατά το άνοιγμα. Προσέξτε τη σημασία του παράγοντα $\dot{n}(t_j)$, η οποία πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη για να σχηματίσουν ένα μακροσκοπικό πεδίο.

Με την προϋπόθεση ότι οι ρωγμές είναι οργανωμένες σε σύνολα καταναμημένα στοιχεία που αλληλοεπιδρούν, η δυναμική της μεγάλης κλίμακας (macroscopic) microfracturing περιγράφονται με κινητική προσέγγιση χρησιμοποιώντας την θεωρία της κινητικής του Czechowski's [25,26]. Σύμφωνα με αυτή την θεωρία, σε κάθε δεδομένο επίπεδο της ιεραρχίας ρωγμών υπάρχει μια δυναμική ισορροπία μεταξύ του αριθμού των ρωγμών που εισήγαγε η πυρήνωση νέων ρωγμών και η σύντηξη των μικρότερων ρωγμών με τον αριθμό των ρωγμών να εξαχθεί από την σύντηξη και την αλλαγή σε άλλο μεγαλύτερο μέγεθος. Οι πολλαπλές αυτές συζεύξεις στην ιεραρχία των ρωγμών οδηγεί σε επιτάχυνση της παραγωγής ρωγμών και ομαδοποίηση κατά την έναρξη της διαδικασίας που ακολουθείται από εκθετική αποσύνθεση. Το σχήμα τους μπορεί να περιγράψει από μια εμπειρική συνάρτηση χρόνου, όπως:

$$\dot{n}(t) = (At)^s e^{-(\Gamma t)^x} u(t) \quad (2.8)$$

όπου $u(t)$ είναι το Heaviside βήμα με $u(t) = 1$ για $t > 0$ και $u(t) = 0$ για $t \leq 0$. Τέσσερα σήματα προκύπτουν από την (2.8) χρησιμοποιώντας διαφορετικές τιμές για A , Γ και s , με x ορισμένο σε 1, απεικονίζονται στο σχήμα 2.1

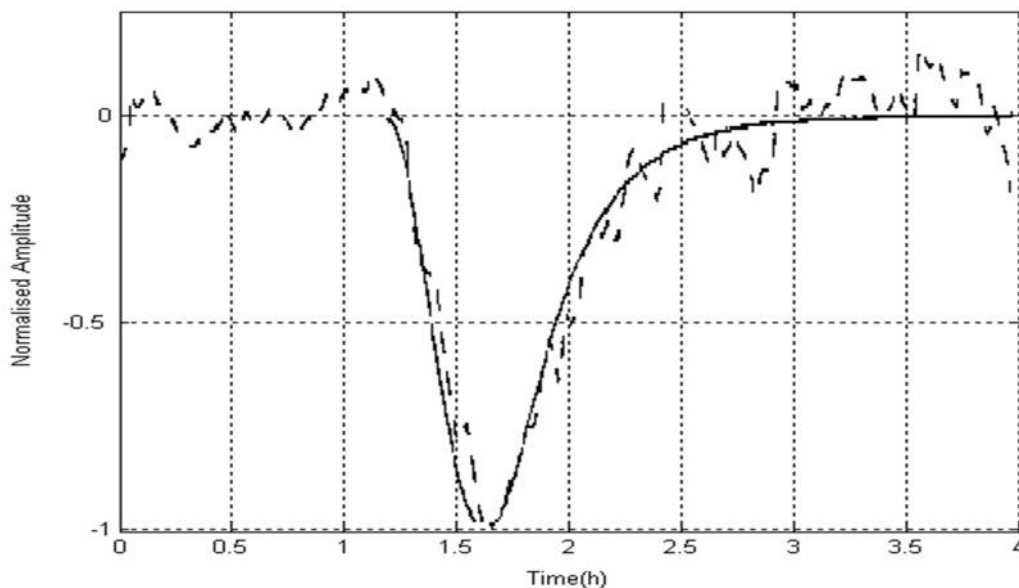


Σχήμα 2.1 Κανονικοποιημένες συναρτήσεις χρόνου περιγράφουν την εξέλιξη της παραγωγής των ρωγμών για διαφορετικές παραμέτρους της εξίσωσης (2.8). Συνεχής γραμμή: $A = 0.3 \times 10^{-2}$, $S = 2$, $r = 10^{-3}$, $\chi = 1$. Διακεκομμένη γραμμή: $A = 0.2 \times 10^{-3}$, $S = 2$, $r = 10^{-3}$, $\chi = 1$. Διακεκομμένη με κουκίδες γραμμή: $A = 0.2 \times 10^{-3}$, $S = 2$, $r = 5 \times 10^{-3}$, $\chi = 1$. Κυκλική γραμμή: $A = 0.2 \times 10^{-3}$, $S = 3$, $r = 5 \times 10^{-3}$, $\chi = 1$ [17].

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (2.7) και (2.8) καταλήγουμε σε μια συνάρτηση που περιγράφει το παρατηρούμενο μακροσκοπικό ηλεκτρικό σήμα:

$$\bar{E}(r,t) = \dot{n}(t) * E(r,t) \quad (2.9)$$

όπου ‘*’ υποδεικνύει το άμεσο προϊόν και $\bar{E}(r,t)$ είναι το μακροσκοπικό ηλεκτρικό σήμα. Επειδή η σταθερά του χρόνου $E(r,t)$ είναι στι διάστημα μεταξύ 10^{-7} έως 10^{-4} s ενώ η τιμή της συνάρτησης πηγής χρόνου $\dot{n}(t)$ είναι αρκετά μικρότερη, τυπικά στο Hz-mHz φάσμα, είναι η κυματομορφή της συνάρτησης χρόνου πηγής ότι υπερτερεί και έτσι προσδιορίζει την κυματομορφή της παραγόμενης EEP. Η αποτύπωση του EEP σήματος απεικονίζεται στο σχήμα 2.2, η οποία καταγράφηκε πριν από το $M 7.1$ Κεφαλληνίας, Ελλάδα, σεισμός του Ιανουάριος 1983 από το E-W 50 m συστατικό του PIR σταθμού, με βάση κατά προσέγγιση στα 130 km νοτιοανατολικά από το επίκεντρο, είναι μόνο ένα από τα σήματα EEP που έχουν παρατηρηθεί πριν από έναν σεισμό με όλα να υποστηρίζουν τη θεωρία του πολλαπλασιασμού ρωγμών.



Σχήμα 2.2 Μια σύγκριση μεταξύ της κανονικοποιημένης μακράς περιόδου E-W στοιχείο από το παρατηρημένο EEP σήμα και το σήμα αναπαράγεται βάση της εξίσωσης (2.8), για της οποίας $A \approx 5.3 \times 10^{-4}$, $S \approx 2.1$, $\Gamma \approx 9.9 \times 10^{-4}$, και $\chi = 1$ [17].

Το σήμα διαρκεί περίπου μιάμιση έως δύο ώρες επάνω σε μια πολύ μακρά περίοδο με μη γραμμικό υπόβαθρο λόγω του ηλεκτρικού πεδίου της Γης. Το ασύμμετρο σχήμα του κανονικοποιημένου σήματος EEP έχει αυστηρή προσέγγιση από την εξίσωση (2.8) όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.2, για τα δεδομένα παραμέτρων : $A \approx 5.3 \times 10^{-4}$, $S \approx 2.1$, $\Gamma \approx 9.9 \times 10^{-4}$, και $\chi = 1$

2.3

μ

μ

-

μ

Αυτή η ενότητα παρέχει μια περιγραφή των σταθμών και το τηλεμετρικό δίκτυο για την παρακολούθηση του ηλεκτρικού πεδίου της Γης σε δεκαέξι διαφορετικές τοποθεσίες σε όλη την Ελλάδα. Κάθε σταθμός μετρά ενδεχόμενες διαφορές μεταξύ οκτώ ζευγών ηλεκτροδίων που εισάγονται περίπου ένα έως δύο μέτρα μέσα στο έδαφος σε δύο διαφορετικές κατευθύνσεις, Βορρά-Νότου και Ανατολής-Δύσης. Οι ενδείξεις από τους σταθμούς τομέα ψηφιοποιούνται και μεταδίδονται μέσω τηλεφωνικών γραμμών σε ένα κεντρικό σταθμό, ο οποίος αποκωδικοποιεί τις πληροφορίες, αντισταθμίζει αυτόματα, αποθηκεύει τα δεδομένα και εμφανίζει τις ηλεκτρικές καταγραφές πεδίου [18,27].

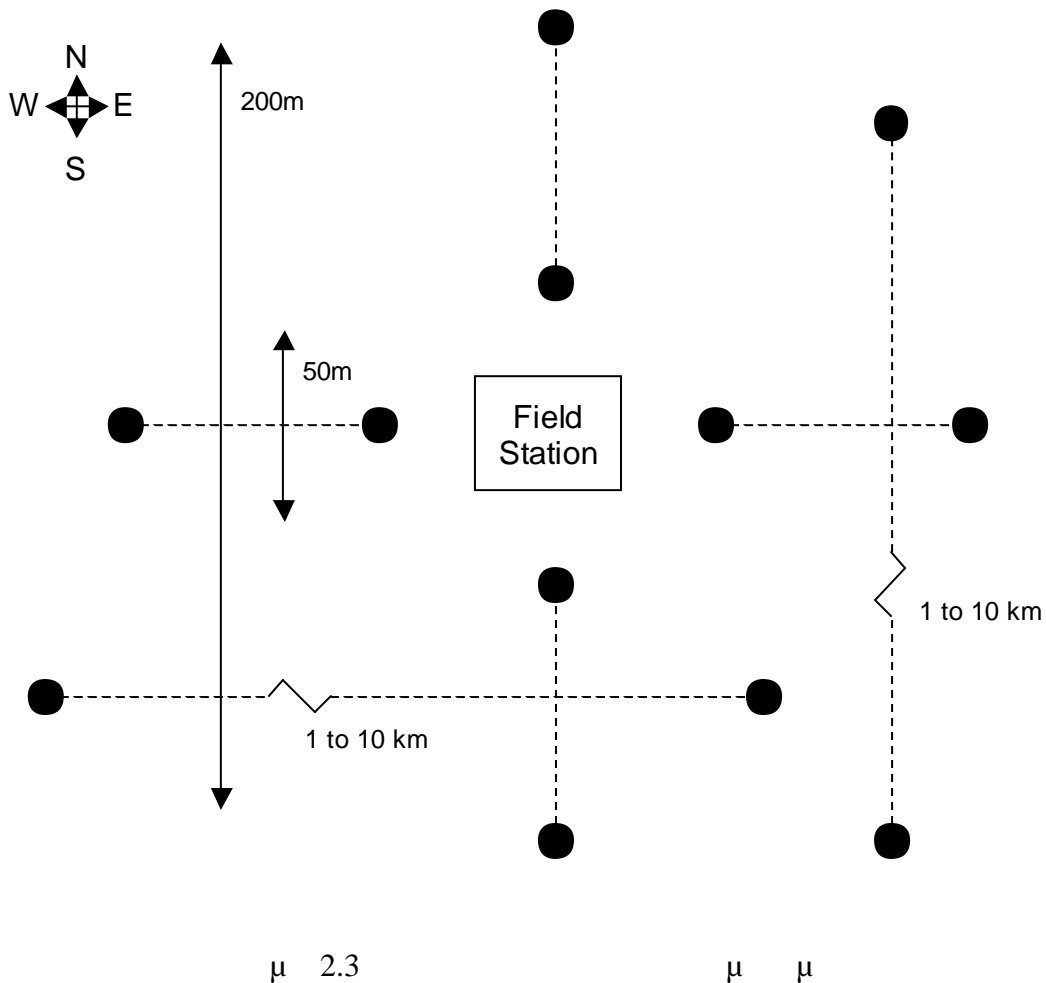
2.3.1

μ

μ

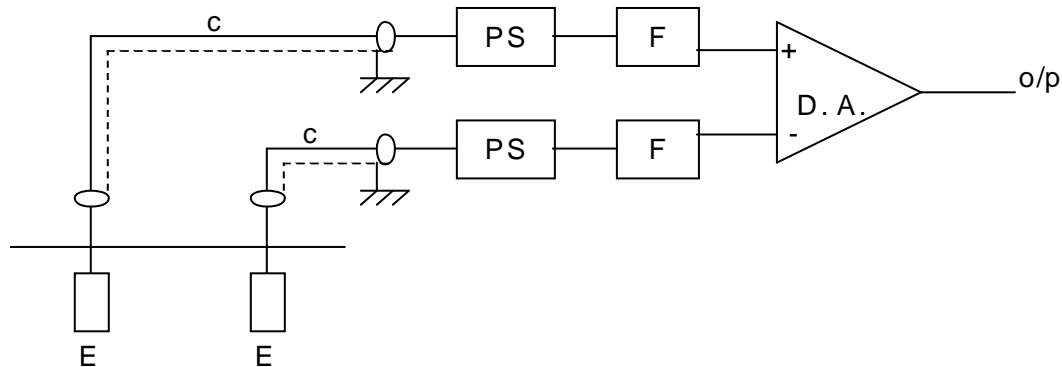
Το ηλεκτρικό πεδίο μετρείται από ζευγάρια ηλεκτροδίων (δίπολα) σε απόσταση μεταξύ τους, για αποστάσεις που κυμαίνονται από πενήντα μέτρα μέχρι αρκετά χιλιόμετρα και έχουν αναπτυχθεί σε κατεύθυνση Βορρά-Νότου και Ανατολής-Δύσης. Τα ηλεκτρόδια κατασκευάζονται συνήθως από Pb-PbCl₂ λόγω του χαμηλού θορύβου και της σταθερότητας τους στην απόδοση και εισάγονται σε ένα προς δύο μέτρα βάθος στο έδαφος [18,28]. Όλοι οι σταθμοί παρακολούθησης βρίσκονται όσο το δυνατόν μακρύτερα από κατοικημένες περιοχές για την αποφυγή πηγών ηλεκτρικού θορύβου και για να εξασφαλιστεί μια αρκετά μεγάλη αδιατάρακτη περιοχή που απαιτείται για την απόσταση των ηλεκτροδίων. Κάθε σταθμός πεδίο έχει τουλάχιστον τέσσερα έως έξι μικρά δίπολα, τα μισά από αυτά έχουν αναπτυχθεί στην κατεύθυνση Βορρά-Νότου

και τα άλλα μισά στην κατεύθυνση Ανατολής-Δύσης, με το μήκος τους να ποικίλλει 50 με 400 μέτρα. Το σχήμα 2.3 δείχνει μια τυπική διάταξη ενός σταθμού στον τομέα.



Κάθε ζεύγος ηλεκτροδίων (μαύροι κόμβοι στο Σχήμα 2.3) συνδέεται με την ευαίσθητη αναλογική συσκευή που φαίνεται στο σχήμα 2.4, η οποία μετρά τη διαφορά δυναμικού τους. Η μετρούμενη τάση V είναι το άθροισμα των τριών διαφορετικών ποσοτήτων τάσης V_e , V_{CH} και V_n , όπου V_e είναι η συνιστώσα του ηλεκτρικού πεδίου, V_{CH} είναι το χημικό δυναμικό των ηλεκτροδίων, ένα αποτέλεσμα που μπορεί να προκαλέσει σοβαρές διαταραχές, αλλά μπορεί να μειωθεί σημαντικά εάν χρησιμοποιούνται μη πολωμένα ηλεκτρόδια, και V_n είναι η ηλεκτρική συνιστώσα θορύβου η οποία μειώνεται με την εξασφάλιση της μέτρησης που λαμβάνει χώρα σε περιοχές μακριά από πηγές ηλεκτρικού θορύβου (πόλεις, γραμμές ισχύος, γεωθερμικές εγκαταστάσεις, ηλεκτρικά τρένα, κλπ). Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται διαφορετικά σε μήκος

δίπολα είναι για να εντοπίσουν και να διακρίνουν τα σήματα που οφείλονται σε χημικές μεταβολές δυναμικού στα ηλεκτρόδια, που συνήθως παρατηρούνται κατά τη διάρκεια ή / και μετά από βροχή, καθώς είναι συνήθως ανεξάρτητα από το μήκος των διπόλων.



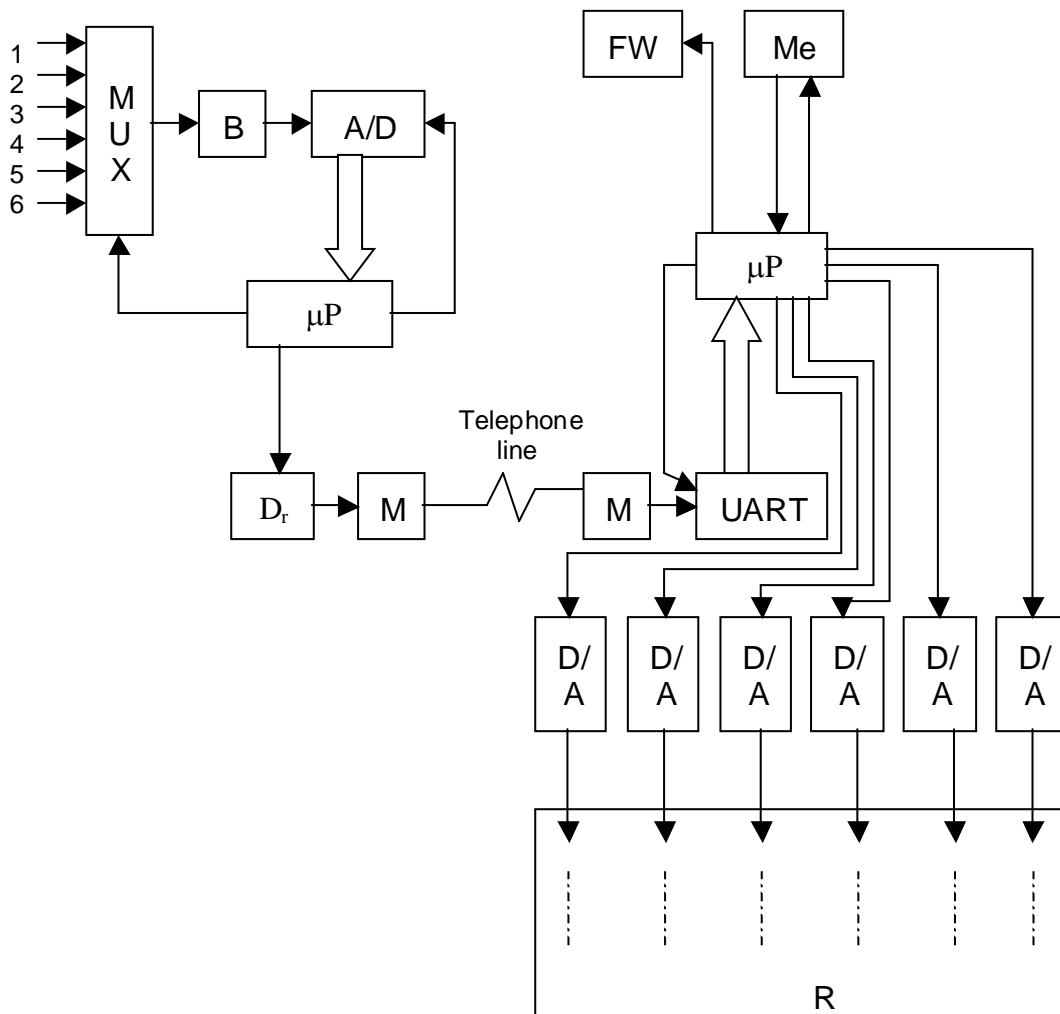
Σχήμα 2.4 Διαμόρφωση της αναλογικής συσκευής που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων. Ηλεκτρόδια «E», «c» ομοαξονικό καλώδιο, το σύστημα προστασίας «P S», φίλτρο ενεργού «F», «Δ. Διαφορικό ενισχυτή A. » με κέρδος 25.

Η είσοδος στην ευαίσθητη αναλογική συσκευή είναι εξοπλισμένη με ένα σύστημα προστασίας σπινθήρα προκειμένου να αποφευχθούν κορυφές που προκύπτουν από κεραυνούς, των οποίων η αύξηση του χρόνου μπορεί να είναι τόσο μικρή όσο 10-9 δευτερολέπτων που ακολουθείται από μια Butterworth χαμηλοπερατού ενεργού φίλτρου, με -3 dB συχνότητα αποκοπής 0,1 Hz. Τα δύο φιλτραρισμένα σήματα του δίπολου οδηγούνται σε ένα διαφορικό ενισχυτή χαμηλού θορύβου με απολαβή 25, το οποίο επιτρέπει στο σύστημα να καταγράφει οποιαδήποτε διαφορά δυναμικού στην περιοχή από ± 200 mV, λόγω των περιορισμένων ± 5 V στην πηγή εισόδου σε ψηφιακά συστήματα. Τα οφέλη από τη χρησιμοποίηση αυτής της συγκεκριμένης διάταξης είναι η πρόληψη του κορεσμού της άμεσης ενίσχυσης εισόδου που οφείλεται σε κορυφές που μερικές φορές έρχονται από τη Γη, τη χαμηλή θερμική μετατόπιση του λειτουργικού ενισχυτή περίπου ενός μικρο-βολτ ανά βαθμό Κελσίου ($1 \mu\text{V} / ^\circ\text{C}$), και ένα κοινό μέσο ποσοστό απόρριψης (CMRR) από +60 dB. Ο μετατροπέας τροφοδοσίας του αναλογικού συστήματος παρέχει τις απαιτούμενες ± 12 V τάσεις σε σχέση με το κοινό έδαφος, με πολλαπλασιαστές λιγότερο από 2 mV από κορυφή σε κορυφή, και είναι ειδικά σχεδιασμένος για να αποφευχθεί η εισαγωγή του θορύβου που οφείλεται

στο μηχανισμό μεταγωγής . Η είσοδος στο μετατροπέα τροφοδοσίας είναι 12 V DC \pm 20%.

Στην περίπτωση μακρών δίπολων, αυτά είναι εγκατεστημένα όσο το δυνατόν πλησιέστερα στις κατευθύνσεις Βορρά-Νότου και Ανατολής-Δύσης με απόσταση ηλεκτροδίων από 1 χλμ. έως 10 χιλιόμετρα μεταξύ τους. Η καλωδίωση επιτυγχάνεται με τη χρήση μισθωμένων τηλεφωνικών γραμμών. Αυτό αυξάνει την αξιοπιστία του συστήματος δεδομένου ότι το ηλεκτρικό πεδίο είναι ταυτόχρονα μετράται από έναν αριθμό διπόλων , με διαφορετική απόστασης ηλεκτροδίων , τυπικά μήκη από 50 m, 200 m και λίγα χιλιόμετρα. Μια παρόμοια αναλογική συσκευή μέτρησης με εκείνη που απεικονίζεται στο σχήμα 2.4 χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων, εξάirsch τις μισθωμένες τηλεφωνικές γραμμές που αντικαθιστά το ομοαξονικό καλώδιο και το κέρδος του διαφορικού ενισχυτή το οποίο κυμαίνεται από 1 έως 5, ανάλογα με το μήκος του διπόλου.

From sensors



Σχήμα 2.5 τηλεμετρίας (αριστερή πλευρά της τηλεφωνικής γραμμής) και του δέκτη (δεξιά πλευρά της διαμόρφωσης της τηλεφωνικής γραμμής. MUX = πολυπλέκτη, B = ρυθμιστικό, A / D = αναλογικό σε ψηφιακό μετατροπέα, μP = μικροεπεξεργαστή, D_r = driver, M = modem, FW = ένδειξη προειδοποίησης σφάλματος, Me = μνήμη, UART = σειριακή σε παράλληλη μετατροπή, D / A = ψηφιακό σε αναλογικό μετατροπέα, R = καταγραφέα.

Η έξοδος από τις αναλογικές συσκευές τροφοδοτείται σε ένα τηλεμετρικό σύστημα μετάδοσης που φαίνεται στην αριστερή πλευρά του σχ. 2.5. Το σύστημα περιλαμβάνει ένα πολυπλέκτη που μπορεί να λάβει μέχρι οκτώ σήματα από τους ευαίσθητες αναλογικές συσκευές, ένα ρυθμιστικό και ένα μετατροπέα αναλογικού προς ψηφιακό. Ο αναλογικός προς ψηφιακό μετατροπέας μετατρέπει το αναλογικό δειγματοληψίας κάθε καναλιού σε 12-bit ψηφιακών δεδομένων. Ο πολυπλέκτης και ο μετατροπέας αναλογικού προς ψηφιακό ελέγχονται από ένα μόνο μικροεπεξεργαστή, ο οποίος λαμβάνει τα ψηφιακά δεδομένα, κωδικούς σύμφωνα με ένα σφάλμα εντοπισμού και διορθώνει τον κώδικα, και τους μεταδίδει σειριακά χρησιμοποιώντας ένα σύστημα οδηγού σε ένα μόντεμ. Το μόντεμ μετατρέπει το ψηφιακό σήμα σε ένα ημιτονοειδές σήμα που αποτελείται από δύο συχνότητες (χαμηλής συχνότητας για «μηδέν» - υψηλής συχνότητας για το «ένα») χρησιμοποιώντας τη συχνότητα μετατόπιση κλειδιού τεχνική (FSK) και τροφοδοτεί το σήμα σε μια τηλεφωνική γραμμή. Τυπικές τιμές baud μετάδοσης είναι 1200 bits / sec με το ρυθμό δειγματοληψίας ανά αναλογικό κανάλι είναι 3 δείγματα / sec.

Ο δέκτης, που φαίνεται στην δεξιά πλευρά του σχήματος 2.5, αποκωδικοποιεί τις πληροφορίες που έλαβε από τον πομπό, μέσω της τηλεφωνικής γραμμής. Το μόντεμ μεταφράζει τον κώδικα FSK σε ψηφιακό. Το ψηφιακό σήμα στη συνέχεια τροφοδοτείται σε ένα μικροεπεξεργαστή, ο οποίος αποπολυπλέκει τα ψηφιακά δεδομένα και προσδιορίζει και διορθώνει οποιαδήποτε στρέβλωση στην ψηφιακή πληροφορία που οφείλεται σε διαταραχές στην τηλεφωνική γραμμή. Εάν δεν είναι δυνατή η διόρθωση της παραμόρφωσης, ο μικροεπεξεργαστής απορρίπτει τα δεδομένα και προειδοποιεί για ένα σφάλμα στην τηλεφωνική γραμμή. Ο ψηφιακός 8-bit σε αναλογικό μετατροπέας πρώτα να μετατρέπει τα οκτώ λιγότερο σημαντικά bits του καναλιού σε αναλογική μορφή και τα ενισχύσει με συντελεστή οκτώ για να καθορίσει το offset για την αναλογική πληροφόρηση. Το κέρδος του 25 από την ευαίσθητη

αναλογική συσκευή πολλαπλασιάζεται με 8, δηλαδή το κέρδος του δέκτη, δίνει το συνολικό κέρδος του συστήματος ίση με 200. Η αναλογική έξοδος του κάθε καναλιού είναι συνδεδεμένη με έναν καταγραφέα και αντιστοιχεί στο ισοδύναμο εισόδου του αισθητήρα που κυμαίνεται από 0 έως $\pm 12,5$ mV. Απόλυτες τιμές μεγαλύτερες από 12,5 mV και έως 200 mV, που μπορεί να εμφανιστούν επί των ηλεκτροδίων, περιορίζονται αυτομάτως, με αποτέλεσμα οι διακυμάνσεις να είναι μέχρι $\pm 12,5$ mV που εμφανίζονται στον καταγραφέα [18].

2.3.2

Ο μηχανισμός για την παραγωγή σημάτων EEP δείχνει ότι δεν υπάρχει κανένας συσχετισμός μεταξύ των EEP και των διαταραχών του ηλεκτρικού πεδίου της Γης λόγω της επαγωγής του μαγνητικού πεδίου. Ωστόσο, η αναγνώριση της EEP παρεμποδίζεται συχνά από το θόρυβο των διαφόρων προελεύσεων. Αυτοί οι τύποι θορύβου μπορεί να ταξινομηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες, ανάλογα με τη φύση της αιτίας [16]:

α) Μαγνητοτελλουρικός, ο θόρυβος που προκαλείται από τις αλλαγές στο μαγνητικό πεδίο της Γης. Σύμφωνα με τη μέθοδο μαγνητοτελλουρικής συζητείται στο κεφάλαιο 4, το ηλεκτρικό πεδίο και το μαγνητικό πεδίο σχετίζονται άμεσα στο πεδίο της συχνότητας. Ως αποτέλεσμα όλες οι παραλλαγές επί του μαγνητικού πεδίου αντανακλούνται επί του ηλεκτρικού πεδίου. Θα πρέπει να παρατηρηθεί όμως, ότι κατά τη διάρκεια μαγνητικών καταιγίδων οι αντίστοιχες ηλεκτρικές μεταβολές είναι τόσο ισχυρές που οι EEP δεν μπορούν να αναγνωριστούν ειδικά στην περίπτωση των αδύναμων σεισμών ή αν το επίκεντρο βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση. Οι μαγνητοτελλουρικές διαταραχές καταγράφονται σχεδόν ταυτόχρονα από όλους τους σταθμούς του τομέα στην περιοχή παρατήρησης αλλά η δύναμή τους ποικίλλει ανάλογα με τη θέση, την κατεύθυνση του διπόλου και τα όργανα του σταθμού.

β) Ηλεκτροχημικός, θόρυβος που προκαλείται από τις αλλαγές στο δυναμικό της επαφής μεταξύ των ηλεκτροδίων και του εδάφους. Το αποτέλεσμα αυτό ενισχύεται σημαντικά κατά τη διάρκεια και μετά από βροχή, όπως υγρασία στο έδαφος, αποτέλεσμα των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων μεταξύ του εδάφους και του μετάλλου των ηλεκτροδίων. Αυτό προκαλεί το τελευταίο να παράγει ανώμαλες ασυνέχειες, οι οποίες μπορούν να εκληφθούν για EEPs.

γ) Πολιτιστικός, θόρυβος που προκαλείται από την επαγωγή των ισχυρών ρευμάτων στη Γη στην περιοχή του σταθμού παρατήρησης. Διαφορετικά γνωστός ως ανθρωπογενής θόρυβος, οι κύριες πηγές του είναι τεχνητές, όπως ηλεκτρικές καλωδιώσεις, βιομηχανικές εγκαταστάσεις, ηλεκτρικά τρένα, και σε σπάνιες περιπτώσεις, φυσικά, όπως αστραπή που χτυπά στο έδαφος. Ο πολιτιστικός θόρυβος δεν εμφανίζεται ταυτόχρονα σε σταθμούς που χωρίζονται από μερικές δεκάδες χιλιόμετρα, σε αυτές τις αποστάσεις οι ταυτόχρονες ηλεκτρικές παραλλαγές μιας τεχνητής φύσης αποκλείονται.

2.4

Το κεφάλαιο αυτό προσφέρει μια εικόνα για τη γεωφυσική πτυχή της πρόγνωσης των σεισμών με έμφαση προς τις ηλεκτρικές πιθανές ανωμαλίες που εμφανίζεται πριν από ένα σεισμό, χαρακτηρίζονται ως ηλεκτρικό-σεισμός (EEPs). Ο γήινος μηχανισμός που παράγει αυτά τα σήματα έχει αναγνωριστεί και επικυρωθεί από τη θεωρία του πολλαπλασιαστικού ρωγμών από τις οποίες μια διεξοδική ανάλυση είναι δεδομένη. Μια λεπτομερής περιγραφή των οργάνων και τη λειτουργία των σταθμών στον τομέα και του τηλεμετρικού δικτύου που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση του ηλεκτρικού πεδίου της Γης είναι επίσης διαθέσιμη, μαζί με την αιτιολόγηση για την επιλογή του τόπου και τη διάταξη των διπόλων. Επιπλέον, μία εικόνα σχετικά με τη φύση των διαταραχών που εμφανίζονται στην ηλεκτρικό πεδίο της Γης είναι δεδομένη, και έχουν τρεις διαφορετικούς τύπους πηγών έχουν ταυτοποιηθεί ταξινόμηση του συνολικού θορύβου σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την προέλευσή του.

3: μ μ μ μ μ

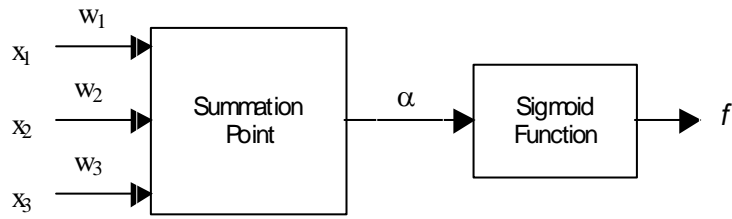
3.1

Αυτό το κεφάλαιο παρέχει το αναγκαίο υπόβαθρο σε νευρωνικά δίκτυα, ασαφής λογική και προσαρμοστικά συστήματα εξαγωγής συμπερασμάτων στα νευρο-ασαφή για να καταστεί δυνατή η καλύτερη κατανόηση των παρακάτω κεφαλαίων αυτής της διατριβής. Πληροφορίες σχετικά με όλες τις σχετικές αναλύσεις της μεθοδολογίας και οι σχετικοί αλγόριθμοι περιλαμβάνονται επίσης.

3.2

Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ΤΝΔ) είναι συστήματα επεξεργασίας πληροφοριών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά απόδοσης που έχουν την τάση να μιμούνται βιολογικούς νευρώνες. Οι νευρώνες είναι απλά στοιχεία επεξεργασίας τα οποία συνδέονται μεταξύ τους είτε απευθείας μέσω συνδέσεων επικοινωνίας, είτε με σύνδεση να συνδέεται με μια διαφορετική τιμή βάρους. Τα βάρη αντιπροσωπεύουν τις πληροφορίες που χρησιμοποιούνται από το νευρωνικό δίκτυο για να εκτελέσει μια συγκεκριμένη εργασία. Ως μέρος του δικτύου, ένας μεμονωμένος νευρώνας λαμβάνει έναν αριθμό σημάτων εισόδου, η οποία μπορεί να είναι οι αρχικοί εισόδοι του δικτύου ή οι έξοδοι από προηγούμενους νευρώνες, και με τη σειρά, ο νευρώνας παράγει ένα σήμα εξόδου, το οποίο μπορεί να είναι μια έξοδος του συνολικού δικτύου ή ένα σήμα εισόδου σε άλλων νευρώνα . Το μοτίβο συνδέσεων μεταξύ των νευρώνων καλείται η αρχιτεκτονική του νευρωνικού δικτύου. Κάθε νευρώνας περιγράφεται από τη λειτουργία την ενεργοποίησή του, η οποία είναι συνήθως μια μη-γραμμική συνάρτηση των σημάτων εισόδου που ελήφθησαν. Η συνάρτηση ενεργοποίησης καθορίζει τις νευρωνικές "φωτιές" ή όχι, και εάν ναι, το σήμα εξόδου του νευρώνα. Τα βάρη στα σημεία των συνδέσεων των νευρώνων είναι δυναμικές. Αλγόριθμοι κατάρτισης παρέχουν τα μέσα για να προσαρμόσει αναλόγως τις τιμές βάρους των νευρώνων, ώστε στο δίκτυο να επιτευχθεί η βέλτιστη απόδοση. Τυπικά, ένα νευρωνικό δίκτυο χαρακτηρίζεται από την αρχιτεκτονική της, τον αλγόριθμο εκπαίδευσης, και τη λειτουργία ενεργοποίησης.

Μία γενική περιγραφή των τριών εισόδου - ένας νευρώνας εξόδου απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα:



$$\alpha = w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3$$

$$f(\alpha) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha}} \quad (3.1)$$

Αναφέρθηκε νωρίτερα ότι νευρωνικά δίκτυα προσπαθούν να μιμηθούν βιολογικούς νευρώνες και απλά νευρωνικά συστήματα. Υπάρχουν τρεις κατηγορίες των νευρωνικών αρχιτεκτονικών δικτύου [29], όλα δείχνουν διαφορετικούς τρόπους στη μοντελοποίηση του νευρικού συστήματος.

- Feed-forward νευρωνικά δίκτυα δείχνουν ένα σύνολο δεδομένων εισόδου σε ένα σύνολο δεδομένων εξόδου. Το επιθυμητό μετασχηματισμό εισόδου-εξόδου είναι συνήθως καθορισμένο από εξωτερικούς, ελεγχόμενους παραμέτρους του συστήματος, π.χ. ο υπολογισμός ενός σήματος σφάλματος μεταξύ πραγματικής και απαιτούμενης απόδοσης και την ενσωμάτωσή του με τον αλγόριθμο ανάστροφης διάδοσης, που χρησιμοποιείται ευρέως στην βιβλιογραφία.
- Dynamic or recurrent or feedback neural networks χρησιμοποιούν το μετασχηματισμό των εισροών για τον καθορισμό της αρχικής κατάστασης πριν την δραστηριότητα του συστήματος ανάδρασης. Ανάδραση υπάρχει σε ένα δυναμικό σύστημα όταν η έξοδος του ενός στοιχείου του συστήματος είναι συνδεδεμένο με την είσοδο συγκεκριμένου στοιχείου, δημιουργώντας έτσι μία ή περισσότερες κλειστές διαδρομές για τη μετάδοση των σημάτων γύρω από το σύστημα.

- Unsupervised neural networks - Ανεξέλεγκτη νευρωνικά δίκτυα αποτελούν μια άλλη κατηγορία αυτο-οργάνωση των δικτύων, με τις γειτονικές κυψέλες στο δίκτυο να ανταγωνίζονται τις δραστηριότητές τους επαναληπτικά για την ανάπτυξη ειδικών ανιχνευτών για διαφορετικά μοτίβα σήματος εισόδου.

Το εποπτευόμενο νευρωνικό δίκτυο εκπαίδευσης ως στόχο έχει να παράγει μια σειρά από επιθυμητά αποτελέσματα για ένα δεδομένο σύνολο δεδομένων εισόδου. Η εκπαίδευση πραγματοποιείται εφαρμόζοντας διαδοχικά δεδομένα εισόδου, δείγμα σε δείγμα, σε κάθε είσοδο, ενώ ένας προκαθορισμένος αλγόριθμος εκπαίδευσης χρησιμοποιείται για να προσαρμόσει τα βάρη του δικτύου ανάλογα. Κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης, τα βάρη σταδιακά συγκλίνουν σε τιμές που επιτρέπουν στο νευρωνικό δίκτυο να παράγει το επιθυμητό σήμα εξόδου για το δεδομένο διάνυσμα εισόδου [29,30].

Οι αλγόριθμοι Εκπαίδευσης κατηγοριοποιούνται ως εποπτευόμενη και μη εποπτευόμενη [31,32]:

- Εποπτευόμενοι αλγόριθμοι εκπαίδευσης απαιτούν μια είσοδο και μια έξοδο, ζεύγος από τα δεδομένα, που ονομάζεται το ζεύγος κατάρτισης. Μια σειρά από ζεύγη εκπαίδευσης (σύνολο εκπαίδευσης ή κατάρτισης δεδομένων) χρησιμοποιείται για να εκπαιδεύσει το δίκτυο. Οι φορείς του εκπαιδευτικού συνόλου που κατέχουν ένα μόνο δείγμα για κάθε είσοδο, παρουσιάζονται στο δίκτυο το ένα μετά το άλλο. Ένας αλγόριθμος μάθησης χρησιμοποιείται για να προσαρμόσει τα βάρη των νευρώνων με σκοπό να ταιριάζει με το σήμα της επιθυμητής εξόδου. Όταν αυτό επιτευχθεί τα βάρη παραμένουν σταθερές. Ένα ολοκληρωμένο πέρασμα από το σύνολο των δεδομένων ονομάζεται epoch. Η Εκπαίδευση συμπληρώνεται μετά από έναν αριθμό epoch's αρκετά μεγάλων για να ελαχιστοποιηθεί η διαφορά μεταξύ της πραγματικής και της απαιτούμενης εξόδου του δικτύου (ιδανικά μηδέν). Τα νευρωνικά δίκτυα έχουν την τάση να εμφανίζουν γενίκευση. Ως εκ τούτου, όταν ένα άορατο σήμα τροφοδοτεί το δίκτυο, το νευρωνικό δίκτυο ανταποκρίνεται με μια έξοδο παρόμοια με την απαιτούμενη έξοδο που παράγεται για την προηγουμένως ορατή είσοδο του φορέα που προσεγγίζει περισσότερο το τρέχον άορατο διάνυσμα εισόδου.
- Ανεξέλεγκτοι αλγόριθμοι εκπαίδευσης δεν απαιτούν μια ιδανική έξοδο. Το σύνολο των δεδομένων εκπαίδευσης αποτελείται μόνο από διανύσματα εισόδου. Ο αλγόριθμος εκπαίδευσης ρυθμίζει τα βάρη κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα πιο παρόμοια διανύσματα εισόδου να ανατίθενται στην ίδια έξοδο. Έτσι, ένας αριθμός αποτελεσμάτων του συμπλέγματος που σχηματίζεται από το

νευρωνικό δίκτυο, παράγει ένα αντιπροσωπευτικό φορέα για κάθε διαμορφωμένο σύμπλεγμα. Έτσι, χωρίς επίβλεψη των αποτελεσμάτων της κατάρτισης από τις στατιστικές ιδιότητες του συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης, και των ομάδων με παρόμοια διανύσματα εισόδου σε κατηγορίες.

Τα νευρωνικά δίκτυα βρίσκουν εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών στους τομείς της προσέγγισης της λειτουργίας και της αναγνώρισης προτύπων. Προσέγγιση συναρτήσεων περιγράφεται ως η διαδικασία με την οποία ένα νευρωνικό δίκτυο εκπαιδεύεται για να προσεγγίσει μια αντιστοίχιση μεταξύ ενός συνόλου των δεδομένων εισόδου / εξόδου. Αρκετά νευρωνικά δίκτυα έχουν αποδειχθεί να είναι εντελώς προσεγγιστικά, δηλαδή μπορούν να προσεγγίσουν οποιαδήποτε δεδομένη συνεχή λειτουργία σε έναν χώρο καλά. Αναγνώριση προτύπων μπορεί να θεωρηθεί ως ένα υπο-μήνυμα της προσέγγισης λειτουργίας, όπου η χαρτογράφηση πραγματοποιείται μεταξύ του χώρου εισόδου και έναν πεπερασμένο αριθμό των κατηγοριών εξόδου.

3.3

Συνεχώς, μεγάλες ποσότητες ελλιπείς και ανακριβείς αισθητηριακές πληροφορίες παρέχονται από τα αισθητήρια όργανα, και ερμηνεύονται από τον ανθρώπινο εγκέφαλο. Ασαφής λογική παρέχει μια συστηματική λογική για την αντιμετώπιση τέτοιων πληροφοριών και εκτελεί αριθμητικούς υπολογισμούς με τη χρήση γλωσσικών ετικετών που προβλέπονται από τις λειτουργίες των μελών [9]. Επιπλέον, η επιλογή των ασαφών if-τότε κανόνες αποτελούν το βασικό συστατικό ενός ασαφούς συστήματος συμπερασμού (FIS), που μπορεί να διαμορφώσει αποτελεσματικά την ανθρώπινη εμπειρία σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή.

3.3.1

μ μ

Κοιτώντας την ασαφή θεωρία των συνόλων και συγκρίνοντάς την με κλασικές σειρές υπογραμμίζει τη διαφορά μεταξύ ασαφής και συμβατικής λογικής [33].

In Στη συμβατική λογική, ένα κλασικό σύνολο A ορίζεται από μια συνάρτηση, F_A , ονομάζεται η χαρακτηριστική λειτουργία των στοιχείων A . F_A χάρτες από το σύνολο των X , της οποίας το A είναι ένα υποσύνολο, για ένα (Αληθής) ή μηδέν (Ψευδής) ως ακολούθως:

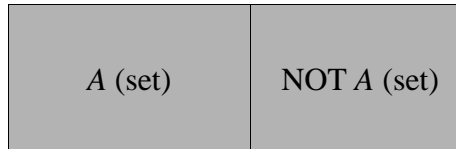
$$F_A: \rightarrow \{ 0, 1 \}, \quad (3.2)$$

$x \in X,$

$$F_A(x) = 1, \text{ if } x \in A$$

$$F_A(x) = 0, \text{ if } x \notin A$$

Ως εκ τούτου, για κάθε στοιχείο x από A , $F_A(x) = 1$, εάν το x είναι ένα στοιχείο του A , και $F_A(x) = 0$, εάν το x δεν είναι ένα στοιχείο του A , όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1.



μ 3.1

μ

Στην ασαφή λογική, το σύνολο A ορίζεται από μια συνάρτηση μ_A που ονομάζεται συνάρτηση συμμετοχής A και παίρνει διάφορα σχήματα, π.χ. τριγωνικό, τραπεζοειδές, Gaussian, κουδούνι, κλπ. Η λειτουργία μ_A με στοιχεία A σε μία τιμή μεταξύ μηδέν και ένα ως ακολούθως:

$$\mu_A : \rightarrow [0 , 1] \quad (3.3)$$

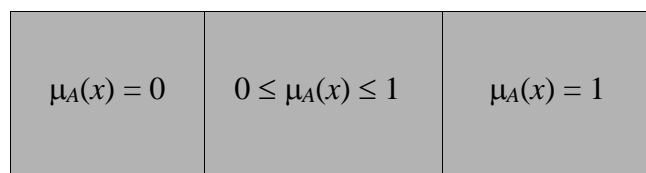
Για στοιχεία x από X ,

$$\mu_A(x) = 1, \quad \text{when } x \text{ fully belongs to } A$$

$$\mu_A(x) = 0, \quad \text{when } x \text{ does not belong to } A$$

$$0 \leq \mu_A(x) \leq 1, \text{ when } x \text{ partially belongs to } A$$

Σε γενικές γραμμές για κάθε στοιχείο x μέσα από το διάστημα X , όπου το A είναι ένα υποσύνολο, $\mu_A(x)$ είναι ο βαθμός στον οποίο το x ανήκει στην A , όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.



μ 3.2

μ

3.3.2 μ

μ μ

_____ μ _____

Εάν το X είναι μια συλλογή αντικειμένων που συμβολίζονται γενικά με x , τότε ένα ασαφές σύνολο A στο X ορίζεται ως ένα σύνολο διατεταγμένων ζευγών [34]:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\}, \quad (3.4)$$

Όπου $\mu_A(x)$ καλείται η συνάρτηση συμμετοχής για το ασαφές σύνολο A . Η συνάρτηση συμμετοχής (MF) για κάθε στοιχείο του X σε μια σύνθεση του βαθμού μεταξύ 0 και 1 [9,34].

_____ Τέσσερις από τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενων λειτουργιών περιγράφονται στην παρούσα παράγραφο [9,35].

Τριγωνικό MFS: Οι τριγωνικές συναρτήσεις καθορίζονται από τρεις παραμέτρους $\{a, b, c\}$ ως εξής:

$$\text{triangle}(x; a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \quad (3.5)$$

Παράμετροι $\{a, b, c\}$, με $a < b < c$, καθορίζουν τις συντεταγμένες x από τις τρεις γωνίες της υποκείμενης τριγωνικής συνάρτησης.

Τραπεζοειδή MFS: Οι τραπεζοειδής συναρτήσεις ορίζονται από τέσσερις παραμέτρους $\{a, b, c, d\}$ ως εξής:

$$\text{trapezoid}(x; a, b, c, d) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c}\right), 0\right) \quad (3.6)$$

Οι παράμετροι $\{a, b, c, d\}$ καθορίζουν το x , συντεταγμένες των τεσσάρων γωνιών της υποκείμενης συνάρτησης τραπεζοειδή.

Γκαουσιανές MFs: Οι Γκαουσιανές συναρτήσεις καθορίζονται από τις δυο παραμέτρους $\{c, \dagger\}$ όπως παρακάτω:

$$\text{gaussian}(x; c, \dagger) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-c}{\dagger}\right)^2} \quad (3.7)$$

Οι παράμετροι $\{c, \dagger\}$ καθορίζουν το κέντρο και το πλάτος της Γκαουσιανής συνάρτησης, αντίστοιχα.

Bell MFs: Οι συναρτήσεις Bell καθορίζονται από τις τρεις παραμέτρους $\{a, b, c\}$ όπως παρακάτω:

$$bell(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c}{a} \right|^{2b}} \quad (3.8)$$

Όπου η παράμετρος b είναι συνήθως θετική (αν το b είναι αρνητικό το σχήμα της συνάρτησης γίνεται ανάποδη καμπάνα). Οι παράμετροι c και a καθορίζουν το κέντρο και το πλάτος της συνάρτησης αντιστοίχως.

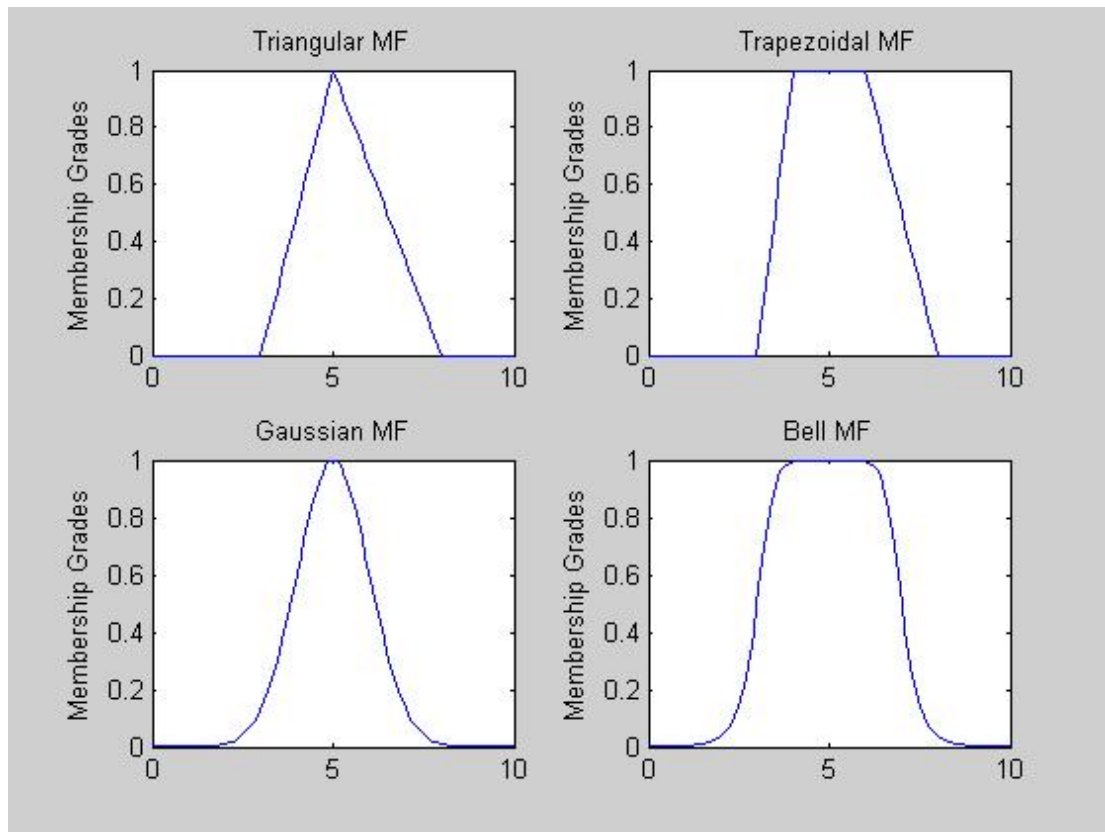
Σχήμα 3.3 απεικονίζονται παραδείγματα από τις τέσσερις προηγούμενες συναρτήσεις ως εξής :

Πάνω αριστερά subplot: Τριγωνικός MF με παραμέτρους $a = 3, b = 5, c = 8$.

Πάνω δεξιά subplot: Τραπεζοειδή MF με παραμέτρους $a = 3, b = 4, c = 6, d = 8$.

Κάτω αριστερά subplot: Γκαουσιανή MF με παραμέτρους $c = 5, \dagger = 1$.

Κάτω δεξιά subplot: Bell MF με παραμέτρους $a = 2, b = 4, c = 5$.



Σχήμα 3.3 Παραδείγματα για τις 4 συναρτήσεις MFs: Τριγωνική ($x; 3, 5, 8$); Τραπεζοειδή ($x; 3, 4, 6, 8$); Γκαουσιανή ($x; 5, 1$); Bell ($x; 2, 4, 5$)

3.3.3 If – Then

Οι ασαφείς if-then κανόνες [9,33], αλλιώς γνωστή ως ασαφείς κανόνες ή ασαφή επιπτώσεις, είναι της μορφής:

$$\text{if } x \text{ is } A \text{ then } y \text{ is } B$$

όπου A και B είναι γλωσσικές αξίες που προσδιορίζονται με ασαφή σύνολα για τις συμπάντων X και Y , αντίστοιχα.

Το 'if' μέρος του κανόνα, i.e. x είναι A , συχνά αποκαλείται πρότερη ή προϋπόθεση, ενώ το «then» μέρος του κανόνα, δηλαδή y είναι B , είναι γνωστό ως συνέπεια.

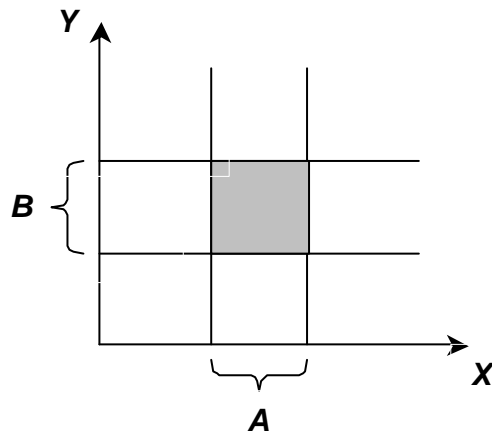
Μερικά παραδείγματα από τους ασαφείς κανόνες:

- αν η πίεση είναι υψηλή, τότε ο όγκος είναι μικρός
- εφόσον η ταχύτητα είναι υψηλή τότε εφαρμόζεται φρένο
- αν ο δρόμος είναι ολισθηρό, τότε οδήγηση είναι επικίνδυνη

Το νόημα της έκφρασης 'Αν x είναι A τότε y είναι B ', η οποία μερικές φορές είναι συντομογραφία $A \rightarrow B$, είναι μια περιγραφή της σχέσης μεταξύ των δύο μεταβλητών x και y . Αυτό υποδειλώνει έναν ασαφή κανόνα if-then, $A \rightarrow B$, μπορεί να οριστεί ως μια ασαφή σχέση R στο χώρο του $X \times Y$, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4. Ερμηνεύοντας $A \rightarrow B$ ως A σε συνδυασμό με το B , τότε η ασαφής σχέση R A και B δίνεται από:

$$R = A \rightarrow B = A \times B = \int_{X \times Y} \tilde{A}(x) \tilde{*} \tilde{B}(y) / (x, y) \quad (3.9)$$

όπου $\tilde{*}$ είναι T-norm operator.



Σχήμα 3.4 Ερμηνεία των ασαφών επιπτώσεις A σε συνδυασμό με B

3.3.4 μ T-norm Operator

Το σημείο τομής των δύο ασαφών συνόλων A και B καθορίζεται σε γενικές γραμμές από μια συνάρτηση $T : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$, η οποία αθροίζει δύο κατηγορίες μελών ως εξής:

$$\sim_{A \cap B}(x) = T(\sim_A(x), \sim_B(x)) = \sim_A(x) \overset{*}{\sim} \sim_B(x) \quad (3.10)$$

όπου $\overset{*}{\sim}$ είναι ένα δυαδικό στοιχείο της συνάρτησης T . Αυτή η κατηγορία της ασαφής τομής (T-norms) είναι δυο συναρτήσεις $T(\cdot, \cdot)$ που πληρούν τις ακόλουθες βασικές απαιτήσεις:

- $T(0, 0) = 0, T(a, 1) = T(1, a) = a$ () (3.11)

- $T(a, b) \leq T(c, d)$ if $a \leq c$ and $b \leq d$ (μ) (3.12)

- $T(a, b) = T(b, a)$ (μ) (3.13)

- $T(a, T(b, c)) = T(T(a, b), c)$ () (3.14)

Η πρώτη απαίτηση επιβάλλει την άμεση γενίκευση στα εύθραυστα σύνολα. Η δεύτερη απαίτηση διευκρινίζει ότι η μείωση του βαθμού A ή B δεν μπορεί να προκαλέσει αύξηση στην αξία των μελών της τομής $A \cap B$. Η τρίτη απαίτηση υποδηλώνει ότι η σειρά των συνδυασμένων ασαφών συνόλων δεν επηρεάζει το φορέα T-Norma. Η τέταρτη προϋπόθεση επιτρέπει τη διασταύρωση του σε οποιοδήποτε αριθμό συνόλων σε οποιαδήποτε σειρά από ομάδες των δύο.

μ [36] T-norm operators :

- : $T_{min}(a, b) = \min(a, b) = a \wedge b$ (3.15)

- $T_{ap}(a, b) = ab$ (3.16)

- Bounded $T_{bp}(a, b) = 0 \vee (a + b - 1)$ (3.17)

- $T_{dp}(a, b) = a, \text{ if } b = 1$ (3.18)
 $= b, \text{ if } a = 1$
 $= 0, \text{ if } a, b < 1$

3.3.5 Sugeno μ μ μ

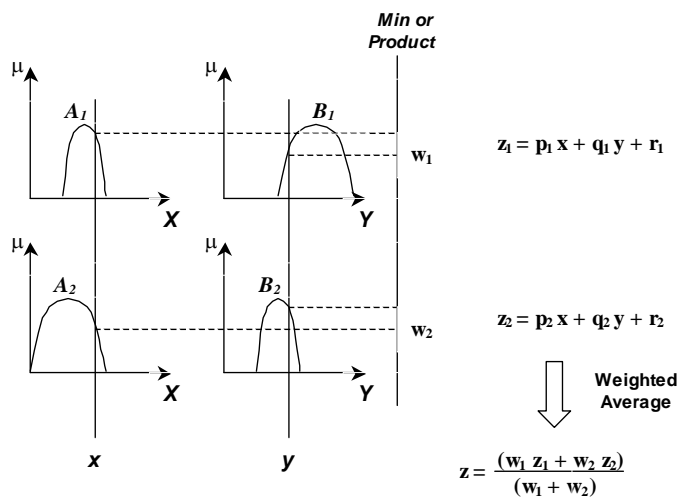
Το Sugeno ασαφές μοντέλο προτάθηκε σε μια προσπάθεια να αναπτύξει μια συστηματική προσέγγιση για τη δημιουργία ασαφών κανόνων από ένα δεδομένο σύνολο δεδομένων εισόδου-εξόδου. Ένας τυπικός ασαφής κανόνας σε Sugeno ασαφή μοντέλο έχει την ακόλουθη μορφή:

$$\text{αν } x \text{ είναι } A \text{ και } y \text{ είναι } B \text{ τότε } z = f(x, y)$$

όπου A και B είναι ασαφή σύνολα είναι υποχρεωτικά για το σκεπτικό του κανόνα $z = f(x, y)$ είναι η εύθραυστη συνάρτηση του κανόνα.

$f(x, y)$ είναι ένα πολυώνυμο των μεταβλητών εισόδου x και y , αλλά μπορεί επίσης να είναι οποιαδήποτε λειτουργία, αρκεί να περιγράφει κατάλληλα την έξοδο του μοντέλου με την ασαφή περιοχή που καθορίζεται από το προηγούμενο μέρος του κανόνα. Όταν $f(x, y)$ είναι μια πρώτης τάξης πολυώνυμο το προκύπτον σύστημα ασαφούς συμπερασμού καλείται «πρώτης τάξης Sugeno ασαφούς μοντέλου» [37]. Στην περίπτωση όπου f είναι συνεχής, το προκύπτον σύστημα ασαφούς συμπερασμού που είναι γνωστό ως «μηδενικής τάξης Sugeno ασαφούς μοντέλου».

Η ασαφής συλλογιστική διαδικασία για ένα πρώτης τάξης Sugeno ασαφούς μοντέλου δείχνεται στο Σχήμα 3.5.



μ 3.5 μ Sugeno

Δεδομένου ότι κάθε κανόνας παράγει μια ευκρινή απόδοση, η συνολική παραγωγή επιτυγχάνεται με σταθμισμένο μέσο όρο-μια μέθοδος αποασαφοποίησης που μετατρέπει τις

πολλαπλές εξόδους εκχυλίζονται με τους κανόνες του ασαφούς συμπερασμού συστήματος σε μία ενιαία καθαρή έξοδο, σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

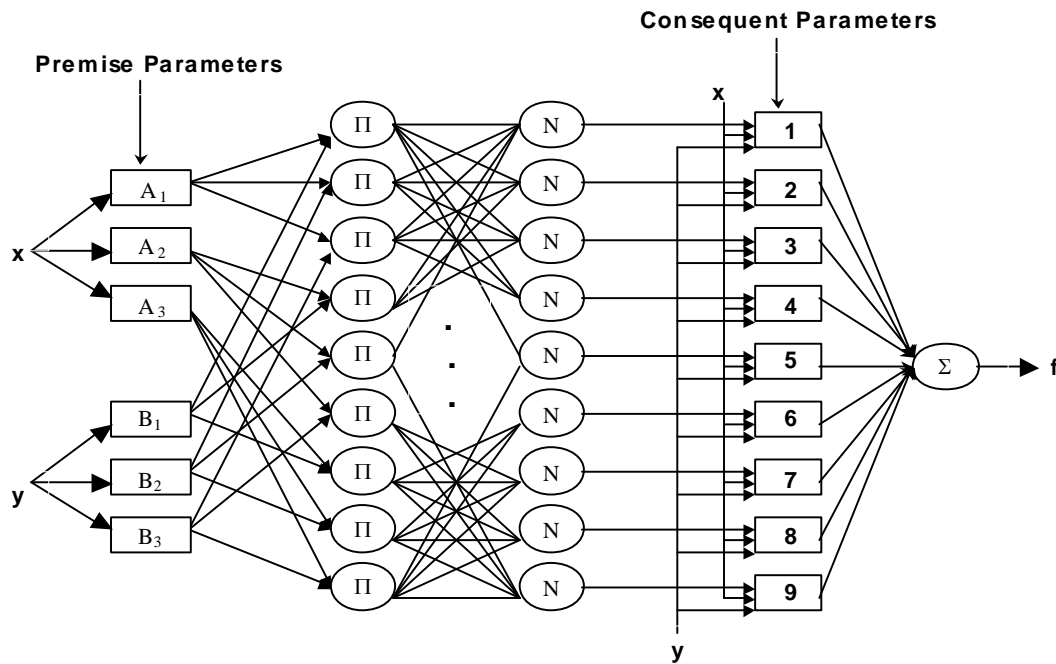
$$z = \frac{\sum_i w_i z_i}{\sum_i w_i}$$

Παρά το γεγονός ότι τα συμπερασματικά ασαφή συστήματα έχουν μια δομημένη αναπαράσταση γνώσης με τη μορφή ασαφών if-then κανόνων, δεν είναι προσαρμοστικά και ως εκ τούτου δεν μπορούν να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά τις συνεχώς μεταβαλλόμενες δυναμικές εξωτερικά συνθήκες [38]. Έτσι, υπάρχει μια ανάγκη για την ενσωμάτωση νευρωνικών δικτύων μάθησης σε ασαφή συμπερασματικά συστήματα, που οδηγεί προς την νευρο-ασαφή μοντελοποίηση, μια βασική τεχνική σε soft-computing.

3.4 - μ

Τα Νευρο-ασαφή μοντέλα είναι τα νευρωνικά δίκτυα με εγγενή ασαφής ικανότητες, δηλαδή τα βάρη των νευρώνων στο δίκτυο ορίζουν την παραδοχή και τους επακόλουθους παραμέτρους ενός ασαφούς Συμπερασματικού συστήματος. Οι παράμετροι καθορίζουν το σχήμα και το μέγεθος των συναρτήσεων συμμετοχής εισόδου, ενώ οι επακόλουθες παράμετροι καθορίζουν τα χαρακτηριστικά των συναρτήσεων εξόδου και καθορίζουν τους κανόνες που διέπουν τα ασαφή συμπερασματικά συστήματα. Τα Προσαρμοστικά Νευρο-Ασαφή συμπερασματικά Συστήματα (ANFIS) αλγόριθμο [39] δημιουργούν ένα ασαφές σύστημα που αποθηκεύει έναν αριθμό δεδομένων εισόδου σε δεδομένα εξόδου καθορίζονται ρυθμίζοντας λειτουργίες των μελών του, χρησιμοποιώντας ένα υβριδικό αλγόριθμο [9]: ένας συνδυασμός του αλγορίθμου ανάστροφης διάδοσης [40,41] και η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων [42]. Αυτό απαιτεί λιγότερο υπολογισμό από τον αλγόριθμο ανάστροφης διάδοσης και μόνο, δεδομένου ότι η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων μειώνει το χώρο αναζήτησης και τις διαστάσεις του αρχικού αλγορίθμου ανάστροφης διάδοσης. Με έναν παρόμοιο τρόπο για να τροφοδοτήσουμε τα εμπρός νευρωνικά δίκτυα, ANFIS παράγει ένα σήμα εξόδου κατά τη διάρκεια της προς τα εμπρός πέρασμα, με βάση το αρχικό σύνολο των συναρτήσεων. Οι επακόλουθες παραμέτρους που ορίζονται στον εμπρός πέρασμα με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Τότε η έξοδος είναι σε σύγκριση με την απαιτούμενη έξοδο, και ένα σήμα σφάλματος ανατροφοδοτείται στο σύστημα για να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της προς τα πίσω, μεταβάλλοντας τις παραμέτρους χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο ανάστροφης διάδοσης. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι το σήμα σφάλματος να γίνει επαρκώς μικρό (ιδανικά μηδέν).

Σχήμα 3.6 Απεικονίζει την Αρχιτεκτονική ANFIS δύο εισόδων (x και y) ενός νευροασαφούς δικτύου που καθοδηγείται από 9 κανόνες καθοδηγείται από εννέα κανόνες, όπου κάθε είσοδος είναι πιθανόν να έχει τρεις συνδεδεμένες συναρτήσεις :



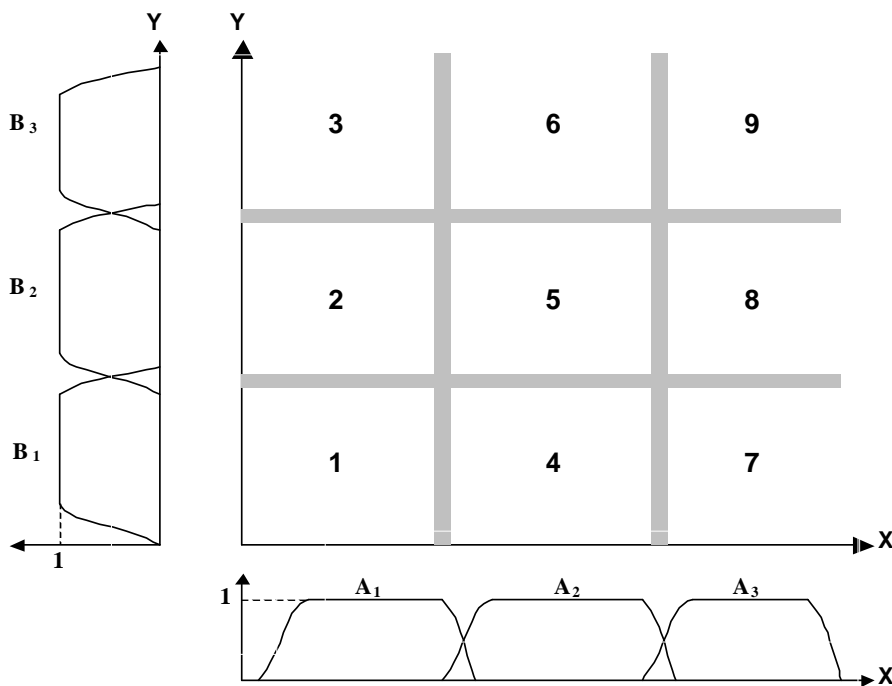
μ 3.6

ANFIS

Οι προσαρμοστικοί κόμβοι A_1 , A_2 , A_3 και B_1 , B_2 , B_3 κατέχουν τις παραμέτρους των συναρτήσεων εισόδου, ενώ οι προσαρμοστικοί κόμβοι 1 έως 9 κατέχουν τις παραμέτρους των συναρτήσεων εξόδου και τους κανόνες που διέπουν το δίκτυο. Κόμβοι χαρακτηρισμένοι ως π είναι σταθερές και υπολογίζουν τη δύναμη πυροδότησης του κανόνα, ενώ οι κόμβοι που χαρακτηρίζονται ως N υπολογίζουν την αναλογία της δύναμης πυροδότησης ενός κανόνα για το άθροισμα της δύναμης βολής όλων των κανόνων ».

3.4.1 μ Grid

Για τη δημιουργία μιας αρχικής κατάτμησης συμπερασματικού ασαφές δικτύου , εφαρμόζεται στα δεδομένα εισόδου του από τα δεδομένα εισόδου / εξόδου [37,43]. Στην περίπτωση του μοντέλου νευρο-ασαφή δείχνεται στο Σχήμα 3.6, το δισδιάστατο χώρο εισόδου χωρίζεται σε εννέα επικαλυπτόμενες ασαφής περιοχές , κάθε μία από τις οποίες διέπονται από μια συγκεκριμένη If-then , όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.7.



Σχήμα 3.7 Χώρος εισόδου στην κατάτμηση σε εννέα ασαφής περιφέρειες

Η δομή του μοντέλου νευρο-ασαφή εξαρτάται από τον αριθμό των εισόδων και των συναρτήσεων εισόδου ανά είσοδο. Κάθε λειτουργία και ένταξη εκπροσωπείται από ένα μόνο νευρώνα. Οι κανόνες που διέπουν το συμπερασματικό ασαφές σύστημα είναι ίσοι με τον αριθμό των συναρτήσεων ανά είσοδο σε ισχύ του συνολικού αριθμού των εισόδων του συστήματος. Ένας νευρώνας χρησιμοποιείται για να καθορίσει τους κανόνες στο σύστημα. Κάθε κανόνας , είναι συνδεδεμένος με μία μόνο συνάρτηση εξόδου. Ένας νευρώνας χρησιμοποιείται για να παράγει μια εύθραυστη έξοδο (αποασαφοποίησης).

3.4.2 μ

Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει ένα συμπερασματικό ασαφές σύστημα με ένα προκαθορισμένο αριθμό εισόδων και εξόδων είναι η αφαιρετική ομαδοποίηση [44,45]. Σε ένα σύνολο δεδομένων, όπου δεν υπάρχει καμία σαφής ένδειξη για το πόσα συμπλέγματα πρέπει να υπάρχουν, η αφαιρετική ομαδοποίηση είναι ένας γρήγορος αλγόριθμος που υπολογίζει πόσα συμπλέγματα απαιτούνται και ποια είναι τα κέντρα διασποράς που πρέπει να είναι για τη συγκρότηση δεδομένων, ανάλογα με τα κύρια χαρακτηριστικά και να ταιριάζει η είσοδος στο σήμα εξόδου. Σκεφτείτε μια συλλογή από σημεία δεδομένων n $\{x_1, \dots, x_n\}$ σε ένα M -διάστατο χώρο. Η αφαιρετική μέθοδος ομαδοποίησης υποθέτει ότι κάθε σημείο δεδομένων θα μπορούσε να είναι ένα πιθανό κέντρο του συμπλέγματος, και υπολογίζει την πιθανότητα για κάθε σημείο δεδομένων να είναι το κέντρο ενός συμπλέγματος, ανάλογα με την πυκνότητα των περιβαλλόντων σημείων δεδομένων. Το μέτρο της πυκνότητας στο σημείο δεδομένων x_i ορίζεται ως:

$$D_i = \sum_{j=1}^n \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{(r_a/2)^2}\right) \quad (3.19)$$

όπου το r_a είναι μια θετική σταθερά. Ως εκ τούτου ένα σημείο δεδομένων έχει μια υψηλή τιμή της πυκνότητας αν έχει πολλά γειτονικά σημεία δεδομένων. Η r_a ακτίνα ορίζει την «γειτονιά», δηλαδή τα σημεία δεδομένων εκτός της ακτίνας αυτής που συμβάλλουν ελαφρώς στο μέτρο της πυκνότητας.

Στη συνέχεια, ο αλγόριθμος επιλέγει το σημείο δεδομένων με την υψηλότερη πυκνότητα να είναι το πρώτο κέντρο διασποράς και αποτελεσματικά αφαιρεί όλα τα σημεία δεδομένων που βρίσκονται εντός των ορίων του πρώτου συμπλέγματος, πριν τον προσδιορισμό για το ποιο σημείο δεδομένων θα σχηματίσει το κέντρο του επόμενου συμπλέγματος. Αυτό γίνεται ως εξής. αν x_{c1} είναι το επιλεγμένο σημείο δεδομένων για το κέντρο του συμπλέγματος και D_{c1} το μέτρο της πυκνότητας του. Το μέτρο της πυκνότητας για κάθε άλλο σημείο δεδομένων είναι στη συνέχεια αναθεωρημένο σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$D_i = D_i - D_{c1} \exp\left(-\frac{\|x_i - x_{c1}\|^2}{(r_b/2)^2}\right) \quad (3.20)$$

όπου το r_b είναι μια θετική σταθερά. Ως εκ τούτου, τα σημεία δεδομένων κοντά στο πρώτο κέντρο του συμπλέγματος θα έχουν μειωθεί σημαντικά σε πυκνότητα και αποτελεσματικά

απομακρύνονται από τα σημεία δεδομένων που είναι υποψήφια για να επιλεγούν ως το επόμενο κέντρο του συμπλέγματος. Η συνεχής r_b ορίζει την «γειτονιά» όπου οι μειώσεις στην πυκνότητα των σημείων δεδομένων λαμβάνουν χώρα. Το r_b είναι συνήθως μεγαλύτερο από το r_a (συνήθως $r_b = 1.5r_a$) για την πρόληψη της απόστασης μεταξύ κέντρων συμπλεγμάτων. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρις ότου όλα τα σημεία δεδομένων εμπίπτουν στα όρια ενός συμπλέγματος.

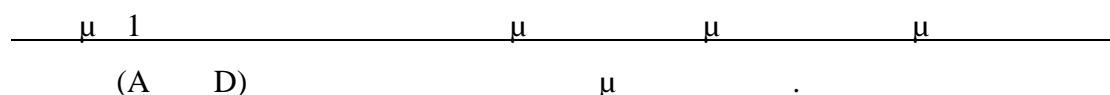
Τα παραγόμενα κέντρα συμπλέγματος από την εφαρμογή της αφαιρετικής ομαδοποίησης σε ένα σύνολο δεδομένων εισόδου / εξόδου παρουσιάζουν ορισμένα χαρακτηριστικά που διαμορφώνουν το σύστημα ? και χρησιμοποιούνται ως κέντρα για την υπόθεση των ασαφών κανόνων σε Sugeno ασαφές μοντέλο. Διευκρινίζεται ότι, αν υποθέσουμε c_i είναι το κέντρο του συμπλέγματος i -στη διάσταση M . c_i μπορεί να αναλυθεί σε δύο φορείς συνιστώσες την p_i και την q_i , όπου p_i είναι το τμήμα εισόδου και περιέχει N στοιχεία του c_i , ενώ q_i είναι το τμήμα της παραγωγής και περιλαμβάνει τα τελευταία στοιχεία της $M-N$ στο c_i . Στη συνέχεια, δίνεται μια είσοδος διάνυσμα x , ο βαθμός στον οποίο πληρούνται οι κανόνες I προέρχονται από την ακόλουθη εξίσωση:

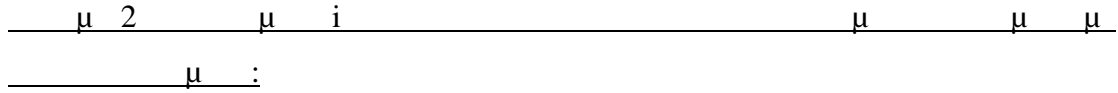
$$\sim_i = \exp\left(-\frac{\|x - p_i\|^2}{(r_a/2)^2}\right) \quad (3.21)$$

Αφού έχει προσδιοριστεί το τμήμα προϋπόθεσης, το συνακόλουθο τμήμα μπορεί να εκτιμηθεί με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Αφού αυτές οι διαδικασίες έχουν ολοκληρωθεί, το αποτέλεσμα του Sugeno ασαφούς μοντέλου μπορεί να εκπαιδευτεί από ANFIS και να βελτιωθεί σε σχέση με την ακρίβεια και την βελτιστοποίηση της απόδοσής του.

3.4.3 -

Η δομή [39,46] ενός νευρο-ασαφούς μοντέλου μονής εξόδου τεσσάρων εισόδων μπορεί να παραχθεί με διαμέριση Grid στο χώρο εισόδου ή με αφαιρετική ομαδοποίηση ενός σετ δεδομένων εισόδου / εξόδου δίνεται στο Σχήμα 3.8. Δύο συναρτήσεις εισόδου (στρώμα 2) έχουν διατεθεί για εισοδοι (στρώμα 1) και ως εκ τούτου υπάρχουν $24 = 16$ κανόνες (επίπεδο 3) και δεκαέξι συναρτήσεις συμμετοχής εξόδου (στρώμα 4). Ο νευρώνας στο στρώμα 5 υπολογίζει τις εξόδους των δύο κανόνων που ζυγίζονται από κάθε λειτουργία εξόδου ώστε να παράγουν μια εύθραυστη έξοδο (στρώμα 6).





$$O_{1,i} = \mu A_i(x), \text{ for } i = 1,2, \text{ or } \quad (3.22)$$

$$O_{1,i} = \mu B_{i-2}(y), \text{ for } i = 3,4, \text{ or}$$

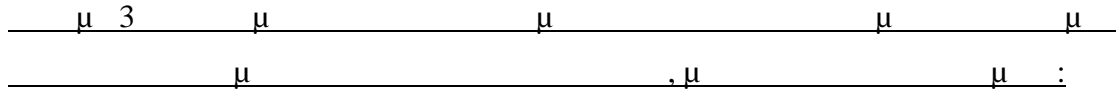
$$O_{1,i} = \mu C_{i-4}(z), \text{ for } i = 5,6, \text{ or}$$

$$O_{1,i} = \mu D_{i-6}(k), \text{ for } i = 7,8,$$

όπου x (ή y, z ή k) είναι η είσοδος στον κόμβο i A_i (ή B_i , ή C_i , ή D_i) είναι η ισοδύναμη λειτουργία των μελών. Ο τύπος της συνάρτησης συμμετοχής (και B, C, D), είναι εκείνη της γενικευμένης λειτουργίας καμπάνας:

$$\sim A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}}, \quad (3.23)$$

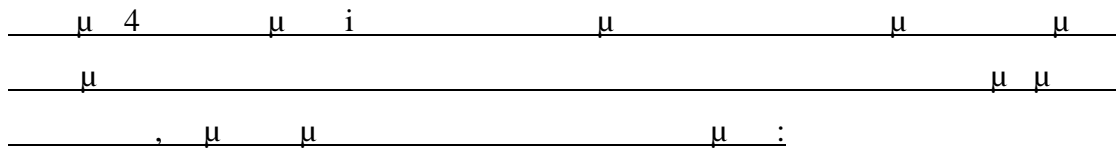
όπου $\{a_i, b_i, c_i\}$ είναι οι παράμετροι παραδοχής του δικτύου που προσδιορίζουν το σχήμα και το μέγεθος της συνάρτησης συμμετοχής. Παρόμοια με ανατροφοδοτικά νευρωνικά δίκτυα, όπου οι παράμετροι προσαρμόζονται κατά τη διάρκεια του προς τα πίσω backpropagation αλγόριθμο



$$O_{2,i} = \overline{w_i} = \frac{w_i}{\sum_i w_i}, \quad (3.24)$$

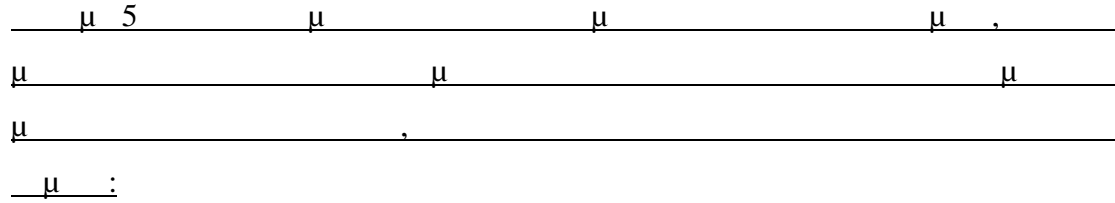
Όπου,

$$w_i = \sim A_i(x) \cdot \sim B_i(y) \cdot \sim C_i(z) \cdot \sim D(k) \quad (3.25)$$

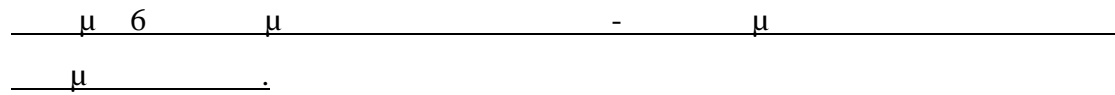


$$O_{3,i} = \overline{w_i} f_i = \overline{w_i} (p_i x + q_i y + m_i z + n_i k + r_i), \quad (3.26)$$

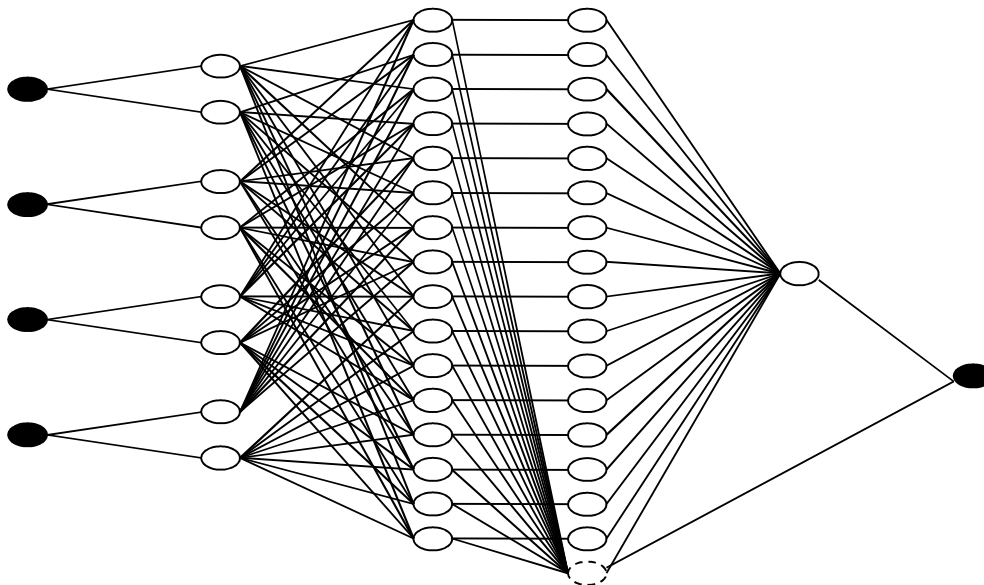
όπου $\{r_i, q_i, m_i, n_i, g_i\}$ είναι οι επακόλουθες παράμετροι του δικτύου που καθορίζει τους κανόνες του συστήματος ασαφούς συμπεράσματος. Ο εκτιμητής ελαχίστων τετραγώνων προσαρμόζει τις συνακόλουθες παραμέτρους κατά τη διάρκεια της προς τα εμπρός σε κάθε πέρασμα. Ο διακεκομμένος κόμβος σε αυτό το στρώμα είναι ένας νευρώνας πόλωσης που χρησιμοποιείται για να καθορίσει τη σημασία του κάθε κανόνα στο σύστημα.



$$O_{4,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i \quad (3.27)$$



inputs input MFs rules output MFs weighted crisp



black nodes – inputs/output; white nodes - neurons; dashed nodes - bias

μ 3.8 -

3.5 μ

Η παράγραφος αυτή επικεντρώνεται στη θεωρία πίσω από τους κύριους αλγόριθμους και τις τεχνικές βελτιστοποίησης, στην οποία εφαρμόζεται η νευρο-ασαφής τεχνολογία.

3.5.1 Backpropagation μ

Ας υποθέσουμε ένα ανατροφοδοτούμενο νευρωνικό δίκτυο [47] με L στρώσεις και κάθε στρώση L, όπου L = 0, ..., L και το L = 0 είναι το στρώμα εισόδου, έχει N(L) κόμβους. Η λειτουργία και η έξοδος από τον κόμβο i στο στρώμα l αντιπροσωπεύονται από $f_{l,i}$ και $x_{l,i}$, αντίστοιχα. Η έξοδος ενός κόμβου εξαρτάται από τα εισερχόμενα σήματα και το σετ παραμέτρων (βάρη και τις παραμέτρους της λειτουργίας ενεργοποίησης του) του ίδιου του κόμβου. Έτσι, μια γενική έκφραση για τη λειτουργία $f_{l,i}$ κόμβων, i δίνεται από:

$$x_{l,i} = f_{l,i}(x_{l-1,1}, \dots, x_{l-1,N(l-1)}, \Gamma, S, \chi, \dots) \quad (3.28)$$

όπου Γ, S, χ , etc. είναι οι παράμετροι του κόμβου.

Λαμβάνοντας υπόψη ένα δεδομένο σύνολο εκπαίδευσης με διανύσματα εισόδου P, το μέτρο σφάλματος για το διάνυσμα εισόδου pth ($1 \leq p \leq P$) του συνόλου δεδομένων εκπαίδευσης δίνεται ως το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων:

$$E_p = \sum_{k=1}^{N(L)} (d_k - x_{L,k})^2 \quad (3.29)$$

όπου d_k είναι η συνιστώσα kth της PTH επιθυμητό φορέα παραγωγής και $x_{L,k}$ είναι το συστατικό kth του πραγματικού διάνυσματος εξόδου που παράγεται, παρουσιάζοντας το PTH διάνυσμα εισόδου στο νευρωνικό δίκτυο. Το συνολικό μέτρο σφάλματος για το δίκτυο ορίζεται ως:

$$E = \sum_{p=1}^P E_p \quad (3.30)$$

Για να χρησιμοποιήσετε απότομη κάθοδο για να ελαχιστοποιηθεί το μέτρο σφάλματος, πρέπει να ληφθεί ο φορέας κλίση. Αντικατοπτρίζοντας κατά τη λειτουργία των νευρωνικών δικτύων, είναι προφανές ότι μια αλλαγή σε ένα κόμβο παραμέτρου α θα επηρεάσει την έξοδο του κόμβου? αυτό με τη σειρά του θα επηρεάσει την παραγωγή του τελικού στρώματος και έτσι το μέτρο σφάλματος. Η κύρια ιδέα για τον υπολογισμό του διανύσματος κλίσης είναι να περάσει πληροφορίες σε μια μορφή ενός παραγώγου ξεκινώντας από το στρώμα εξόδου και κινείται προς τα πίσω μέσα από το στρώμα από το στρώμα δικτύου μέχρι να επιτευχθεί το στρώμα εισόδου. Αυτό επιτυγχάνεται με την ενσωμάτωση των παραγγελθέντων παραγώγων [48].

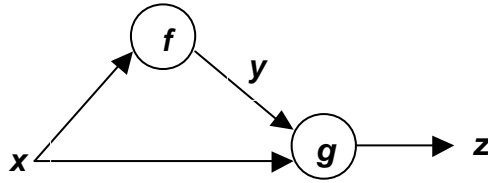
$$v_{l,i} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{l,i}} \quad (3.31)$$

Ένα σήμα σφάλματος $e_{l,i}$ ορίζεται, σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο, ως το παράγωγο του μέτρου σφάλματος E_p σε σχέση με την έξοδο του κόμβου l σε στρώμα L , λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις άμεσες και έμμεσες διαδρομές. Η μερική παράγωγος για ένα εσωτερικό κόμβο $e_{l,i}$, όπου $l \neq L$, είναι μηδενική δεδομένου ότι δεν υπάρχει άμεση σχέση μεταξύ της E_p και $x_{l,i}$. Είναι προφανές όμως, ότι η E_p δεν εξαρτάται από $x_{l,i}$ ως μια αλλαγή στην τελευταία και θα διαδοθεί έμμεσα μέσω του δικτύου για την επιβολή μιας μεταβολής στην αξία του E_p . Ως εκ τούτου, τα σήματα σφάλματος $e_{l,i}$ μπορούν να θεωρηθούν ως ο λόγος των μεταβολών αυτών των δύο σημάτων, δηλαδή αλλαγές στο μέτρο σφάλματος πάνω σε αλλαγές στον εσωτερικό κόμβος εξόδου. Τα παραπάνω γίνεται σαφές στο ακόλουθο παράδειγμα:

Κοιτάζοντας την απλή προσαρμοστική δικτύου που φαίνεται στο Σχήμα 3.9, το z είναι μια συνάρτηση του Y και X , και το y είναι με τη σειρά της μία συνάρτηση του x .

$$\begin{aligned} z &= g(x, y) & (3.32) \\ y &= f(x) \end{aligned}$$

Εάν θεωρούνται συνήθεις μερικά παράγωγα, σε αυτή την περίπτωση $\frac{\partial z}{\partial x}$, τότε όλες οι άλλες μεταβλητές εισόδου, δηλαδή y , αντιμετωπίζονται ως σταθερές, ως εκ τούτου:



Σχήμα 3.9 Ένα απλό προσαρμοστικό δίκτυο

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{\partial g(x, y)}{\partial x} \quad (3.33)$$

Αυτό σημαίνει ότι οι εισοδοι x και y στη συνάρτηση z είναι ανεξάρτητες, πράγμα που δεν είναι αληθές, όπως αυτό αγνοεί εντελώς το γεγονός ότι το Y είναι μία συνάρτηση του x .

Από την άλλη πλευρά, τα παράγωγα λαμβάνουν υπόψη έμμεσες αιτιώδεις σχέσεις παρόμοιες με εκείνες που αναφέρονται σε αυτό το παράδειγμα καθώς και άμεσες σχέσεις, όπως στην περίπτωση με τα συνήθη μερική παράγωγα. Η εφαρμογή που διέταξε παραγώγους στη συγκεκριμένη περίπτωση οδηγεί σε:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^+ z}{\partial x} &= \frac{\partial g(x, f(x))}{\partial x} & (3.34) \\ &= \left. \frac{\partial g(x, y)}{\partial x} \right|_{y=f(x)} + \left. \frac{\partial g(x, y)}{\partial y} \right|_{y=f(x)} \frac{\partial f(x)}{\partial x} \end{aligned}$$

Το σήμα σφάλματος για τον κόμβο εξόδου i th στο στρώμα L δίνεται από:

$$v_{L,i} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{L,i}} = \frac{\partial E_p}{\partial x_{L,i}} = -2(d_i - x_{L,i}) \quad (3.35)$$

μμ

Ep

μ μ μ ith μ LTH

$$v_{l,i} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{l,i}} = \sum_{m=1}^{N(l+1)} \underbrace{\frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{l+1,m}}}_{\text{error signal at layer } l} \underbrace{\frac{\partial f_{l+1,m}}{\partial x_{l,i}}}_{\text{error signal}} = \sum_{m=1}^{N(l+1)} v_{l+1,m} \frac{\partial f_{l+1,m}}{\partial x_{l,i}} \quad (3.36)$$

Όπου $0 \leq l \leq L - 1$.

Από τον παραπάνω τύπο γίνεται σαφές ότι το σήμα σφάλματος στο στρώμα L εκφράζεται ως γραμμικός συνδυασμός του σήματος σφάλματος των κόμβων στο στρώμα L 1. Αποφασίζει να υπολογίσει το σήμα σφάλματος για κάθε κόμβο του δικτύου, κατ' αρχάς η εξίσωση για το σήμα σφάλματος για τον κόμβο εξόδου πρέπει να εφαρμόζεται μία φορά και, στη συνέχεια, η εξίσωση για τους εσωτερικούς υπολογισμούς σήμα σφάλματος του κόμβου πρέπει να εφαρμόζεται επαναληπτικά έως ότου επιτευχθεί η επιθυμητή στρώση L. Σύμφωνα με αυτή τη διαδικασία το σήμα σφάλματος λαμβάνεται διαδοχικά ξεκινώντας από το στρώμα εξόδου και προχωρώντας προς το στρώμα εισόδου, ως εκ τούτου, η ανάστροφης διάδοσης της backpropagation.

Για να ρυθμίσετε τις παραμέτρους του κάθε κόμβου, τα παράγωγα του μέτρου σφάλματος σε σχέση με κάθε παράμετρο, π.χ. του διανύσματος, είναι απαραίτητη. Εάν η α είναι η μια παράμετρος του κόμβου ith στο στρώμα L, τότε, εφαρμόζοντας τον κανόνα της αλυσίδας επί του προκύπτοντος παραγώγου δίνει εντολή:

$$\frac{\partial^+ E_p}{\partial \alpha} = \frac{\partial^+ E_p}{\partial x_{l,i}} \frac{\partial f_{l,i}}{\partial \alpha} = v_{l,i} \frac{\partial f_{l,i}}{\partial \alpha} \quad (3.37)$$

Αν η παράμετρος α είναι μια κοινή παράμετρος για έναν αριθμό κόμβων, τότε η παραπάνω εξίσωση αλλάζει με την ακόλουθη πιο γενική μορφή:

$$\frac{\partial^+ E_p}{\partial \alpha} = \sum_{x^* \in S} \frac{\partial^+ E_p}{\partial x^*} \frac{\partial f^*}{\partial \alpha} \quad (3.38)$$

όπου S είναι μια ομάδα κόμβων που περιέχουν την παράμετρο α , ενώ x^* και f^* είναι η έξοδος και η συνάρτηση του γενικού κόμβου στο S.

Το παράγωγο του συνολικού σφάλματος του μέτρου E σε σχέση με το α είναι:

$$\frac{\partial^+ E}{\partial r} = \sum_{p=1}^P \frac{\partial^+ E_p}{\partial r} \quad (3.39)$$

Ο τύπος για την παράμετρο του κόμβου α σύμφωνα με την απλή απότομη κάθοδο δίνεται από:

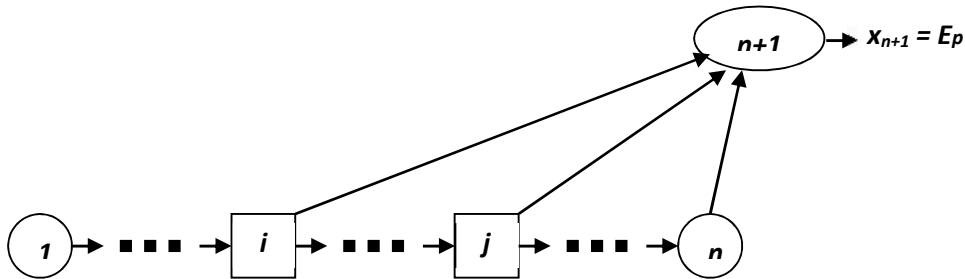
$$\Delta r = -y \frac{\partial^+ E}{\partial r} \quad (3.40)$$

όπου η το ποσοστό μάθησης, που εκφράζεται από:

$$y = \frac{1}{\sqrt{\sum_r \left(\frac{\partial E}{\partial r}\right)^2}} \quad (3.41)$$

όπου κ το μέγεθος του βήματος. Διαφορετικά μεγέθη βήματος μεταβάλλουν την ταχύτητα της σύγκλισης.

Ένας εναλλακτικός τύπος για τον υπολογισμό του σήματος σφάλματος, ε_i στον κόμβο i μπορεί να προέρχεται για ένα n -κόμβων δίκτυο ανάδρασης εάν το μέτρο σφάλματος E_p θεωρείται ως ένας πρόσθετος κόμβος, αναπροσαρμόζονται $n+1$, του οποίου η λειτουργία κόμβου ορίζεται από τις εξόδους των οποιωνδήποτε κόμβων με μικρότερο δείκτη.



Σχήμα 3.10 Τοπολογιακή Παρουσίαση ανάθεσης παραγγελίας σε Δίκτυο ανάδρασης

Με αυτόν τον τρόπο, το E_p εξαρτάται άμεσα από τυχόν κόμβους, ως εκ τούτου συνήθη μερικά παράγωγα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και το σήμα σφάλματος ε_i μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τον κανόνα της αλυσίδας σύμφωνα με τους ακόλουθους τύπους:

$$\frac{\partial E_p}{\partial x_i} = \frac{\partial f_{n+1}}{\partial x_i} + \sum_{i < j \leq n} \frac{\partial E_p}{\partial x_j} \frac{\partial f_j}{\partial x_i} \quad (3.42)$$

$$V_i = \frac{\partial f_{n+1}}{\partial x_i} + \sum_{i < j \leq n} V_j \frac{\partial f_j}{\partial x_i} \quad (3.43)$$

όπου ο πρώτος όρος δείχνει την άμεση επίδραση της x_i στην E_p μέσω της άμεσης διαδρομής από τον κόμβο i στο κόμβο $n+1$, ενώ το δεύτερο μέρος των τύπων δείχνει το έμμεσο αποτέλεσμα της x_i στο E_p . Η διανυσματική κλίση των παραμέτρων του κόμβου προέρχεται όπως πριν. [41,47,49,50]

3.5.2 μ

Λαμβάνοντας υπόψη το γενικό γραμμικό μοντέλο του οποίου η έξοδος y δίνεται από την ακόλουθη γραμμικά παραμετροποιημένη έκφραση:

$$y = {}_n f_1(u) + {}_n f_2(u) + \dots + {}_n f_n(u) \quad (3.44)$$

όπου $u = [u_1, \dots, u_p]^T$ είναι διάνυσμα εισόδου του μοντέλου, f_1, \dots, f_n οι γνωστές λειτουργίες του u και ${}_n f_1, \dots, {}_n f_n$ είναι οι άγνωστες παράμετροι που θα εκτιμηθούν. Η διαδικασία της τοποθέτησης δεδομένων με τη χρήση γραμμικών μοντέλων που είναι γνωστό ως «γραμμικής παλινδρόμησης» με την εξίσωση (3.44) είναι η συνάρτηση 'παλινδρόμησης' μολονότι ${}_n f_i$ είναι οι «συντελεστές παλινδρόμησης».

Ένας αριθμός πειραμάτων διεξάγονται από το σύστημα, χρησιμοποιώντας διάφορα διανύσματα εισόδου για να ληφθούν ισοδύναμες τιμές εξόδου. Ο πειραματισμός αποδίδει ένα δεδομένο σύνολο εκπαίδευσης με τη μορφή ζευγών δεδομένων, (u_i, y_i) για $i = 1, \dots, m$, τα οποία εκπροσωπούν επιθυμητά ζεύγη εισόδου / εξόδου του συστήματος.

Αντικαθιστώντας κάθε ζεύγος δεδομένων στο γενικό γραμμικών εξισώσεων μοντέλο, δίνει μια σειρά από m γραμμικών εξισώσεων:

$$\begin{aligned} f_1(u_1)_{n1} + f_2(u_1)_{n2} + \dots + f_n(u_1)_{nn} &= y_1 \\ f_1(u_2)_{n1} + f_2(u_2)_{n2} + \dots + f_n(u_2)_{nn} &= y_2 \\ &\vdots \\ &\vdots \\ &\vdots \\ f_1(u_m)_{n1} + f_2(u_m)_{n2} + \dots + f_n(u_m)_{nn} &= y_m \end{aligned} \quad (3.45)$$

, μ μ :

$$A_{\mu} = y \quad (3.46)$$

όπου A είναι $m \times n$ πίνακες, γνωστό και ως 'design matrix':

$$A = \begin{bmatrix} f_1(u_1) & \cdots & f_n(u_1) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ f_1(u_m) & \cdots & f_n(u_m) \end{bmatrix} \quad (3.47)$$

μ είναι ένα $n \times 1$ άγνωστο διάνυσμα παραμέτρων:

$$\mu = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \vdots \\ \mu_n \end{bmatrix} \quad (3.48)$$

Και y είναι ένα $m \times 1$ διάνυσμα εξόδου:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix} \quad (3.49)$$

Κάθε γραμμή στον πίνακα δεδομένων A συμβολίζεται με a_i^T και σχετίζεται με την i τη δεδομένα ζεύγη από την εκπαίδευση (u_i, y_i) μέσω:

$$a_i^T = [f_1(u_i), \dots, f_n(u_i)] \quad (3.50)$$

ενώ κάθε στοιχείο y_i σε κάθε σειρά του πίνακα y κατέχει την αξία του i τη του επιθυμητού αποτελέσματος.

$$m \geq n, \text{ i.e. } \begin{matrix} \mu & \mu \\ \mu & \mu \end{matrix} \cdot \begin{matrix} \mu \\ \mu \end{matrix} A \begin{matrix} \mu \\ \mu \end{matrix}, \text{ i.e. } m = n, \begin{matrix} \mu & \mu \\ \mu & \mu \end{matrix},$$

$$x = A^{-1} y \quad (3.51)$$

Ωστόσο, αυτό θα συνέβαινε σε έναν ιδανικό κόσμο όπου δεν υπάρχει μόλυνση των δεδομένων από τον θόρυβο? υπό την προϋπόθεση ότι το μοντέλο αυτό περιγράφει σωστά το σύστημα . Επιπλέον, είναι συχνά η περίπτωση ότι το m είναι μεγαλύτερο από το n , υποδεικνύοντας ότι υπάρχουν περισσότερα ζεύγη δεδομένων από την τοποθέτηση παραμέτρους. Σε αυτή την περίπτωση είναι εξαιρετικά απίθανο να είναι μια ακριβή λύση που θα ικανοποιεί όλες τις m εξισώσεις. Έτσι η εξίσωση (3.46) θα πρέπει να τροποποιηθεί με την ενσωμάτωση ενός σφάλματος με διάνυσμα e για να αντιπροσωπεύει τυχαίο θόρυβο ή / και σφάλματος μοντελοποίησης, ως εξής:

$$A_n x + e = y \quad (3.52)$$

Το ζητούμενο τώρα είναι, αντί της εύρεσης μιας ακριβούς λύσης για την (3.46), για να αναζητήσουμε το διάνυσμα $x = \hat{x}$ που ελαχιστοποιεί το «άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων», που ορίζεται από:

$$E(x) = \sum_{i=1}^m (y_i - a_i^T x)^2 = e^T e = (y - A_n)^T (y - A_n) \quad (3.53)$$

όπου $e = y - A_n x$ είναι το διάνυσμα σφάλματος που παράγεται από ένα συγκεκριμένο διάνυσμα παραμέτρων x .

Στην εξίσωση (3.53), το άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων $E(x)$ είναι τετραγωνικής μορφής και έχει ένα μοναδικό ελάχιστο στο $x = \hat{x}$, ονομάζεται ο εκτιμητής ελαχίστων τετραγώνων (LSE) [42,51]. Ένας αποτελεσματικός τρόπος να ληφθεί ο εκτιμητής ελαχίστων τετραγώνων είναι να υπολογίσουμε την παράγωγο $E(x)$ σε σχέση με x , και να το θέσουμε 0. Σημειώνοντας ότι $x^T A^T y = y^T A_n x$ είναι βαθμωτό, τότε $E(x)$ επεκτείνεται ως εξής:

$$E(x) = (y^T - x^T A^T) (y - A_n x) = x^T A^T A_n x - 2y^T A_n x + y^T y \quad (3.54)$$

Το παράγωγο του $E(\boldsymbol{\mu})$ δίνεται από:

$$\frac{\partial E(\boldsymbol{\mu})}{\partial \boldsymbol{\mu}} = 2A^T A \boldsymbol{\mu} - 2A^T \mathbf{y} \quad (3.55)$$

Όταν $\boldsymbol{\mu} = \hat{\boldsymbol{\mu}}$ είναι το παράγωγο του τετραγωνικού σφάλματος $E(\boldsymbol{\mu})$ σε σχέση με το $\boldsymbol{\mu}$ είναι μηδέν, i.e. $\frac{\partial E(\boldsymbol{\mu})}{\partial \boldsymbol{\mu}} = 0$, και ως εκ τούτου:

$$A^T A \hat{\boldsymbol{\mu}} = A^T \mathbf{y} \quad (3.56)$$

αν $A^T A$ είναι μη-μοναδικός πίνακας, τότε $\hat{\boldsymbol{\mu}}$ είναι μοναδικός και δίνεται από:

$$\hat{\boldsymbol{\mu}} = (A^T A)^{-1} A^T \mathbf{y} \quad (3.57)$$

3.5.3 μ μ : μ μ μ Backpropagation μ .

Backpropagation είναι μια απλή και μάλλον αποτελεσματική μέθοδος βελτιστοποίησης, αλλά συνήθως απαιτεί σημαντικό χρονικό διάστημα προτού να ολοκληρωθεί. Λαμβάνοντας υπόψη ενιαία δίκτυα προσαρμοστικής εξόδου, μπορεί να είναι η υπόθεση ότι η έξοδος του δικτύου είναι γραμμική σε ορισμένες από τις παραμέτρους του δικτύου. Αυτές οι γραμμικές παράμετροι μπορούν να προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων που περιγράφονται στο 3.5.2, μειώνοντας έτσι τον χώρο αναζήτησης του αρχικού αλγορίθμου ανάστροφης διάδοσης. Αυτή η προσέγγιση οδηγεί σε ένα υβριδικό αλγόριθμο, ο οποίος συνδυάζει τον αλγόριθμο ανάστροφης διάδοσης και το λιγότερο εκτιμητής τετραγώνων για γρήγορη αναγνώριση παραμέτρων [9,39,52]. Ένα γενικό προσαρμοστικό ενιαίο δίκτυο εξόδου περιγράφεται από:

$$o = F(i, S) \quad (3.58)$$

όπου i είναι τα δεδομένα εισόδου, S είναι το σύνολο των παραμέτρων του δικτύου, και F είναι η συνολική λειτουργία που υλοποιείται από το προσαρμοστικό δίκτυο. Εάν υπάρχει μια λειτουργία H έτσι ώστε η σύνθετη συνάρτηση $H \circ F$ είναι γραμμική σε ορισμένα από τα

στοιχεία του S , τότε τα στοιχεία αυτά μπορούν να αναγνωριστούν με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Με αυτόν τον τρόπο η παράμετρος του S χωρίζεται σε δύο ομάδες:

$$S = S_1 \oplus S_2 \quad (3.59)$$

όπου \oplus δηλώνει ευθύ άθροισμα και S_2 είναι τα στοιχεία της S για τα οποία $H \circ F$ είναι γραμμικό. Έτσι, η εφαρμογή της συνάρτησης H με την εξίσωση (3.58) αντλεί την ακόλουθη εξίσωση:

$$H(o) = H \circ F (Bi, S) \quad (3.60)$$

η οποία είναι γραμμική ως προς τα στοιχεία του S_2 . Ακολουθώντας την διαδικασία που περιγράφεται στο 3.5.2, δεδομένες τιμές των στοιχείων S_1 , ένα σύνολο δεδομένων εκπαίδευσης (από τον πειραματισμό του συστήματος να διαμορφωθεί) μπορεί να εφαρμοστεί με την εξίσωση (3.58) και η ίδια εξίσωση πινάκων (3.46) λαμβάνεται:

$$A_{\mu} = y \quad (3.61)$$

όπου τα στοιχεία του άγνωστου διανύσματος μ είναι οι παράμετροι S_2 . Αυτό είναι ένα τυπικό πρόβλημα ελαχίστων τετραγώνων που έχουν ήδη συζητηθεί σε 3.5.2 και η βέλτιστη λύση για μ , ελαχιστοποίηση $\|A_{\mu} - y\|^2$, είναι ο εκτιμητής ελαχίστων τετραγώνων $\hat{\mu}$ που δίνεται από:

$$\hat{\mu} = (A^T A)^{-1} A^T y \quad (3.62)$$

μ μ $A^T A$ μ μοναδικό.

Για την εφαρμογή του υβριδικού αλγορίθμου για τα νευρο-ασαφή μοντέλα σε off-line (batch) λειτουργία της κατάρτισης, κάθε epoch αποτελείται από ένα μπροστινό και ένα πίσω πέρασμα. Στο εμπρός πέρασμα ένα διάνυσμα εισόδου παρουσιάζεται στο δίκτυο και οι κόμβοι εξόδου υπολογίζονται στρώμα-στρώμα, έως ότου υπολογιστεί η αντίστοιχη σειρά από τους πίνακες A και Y της εξίσωσης (3.61). Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλα τα ζεύγη δεδομένων εκπαίδευσης (1 epoch), λαμβάνοντας έτσι τον πλήρη πίνακα A και Y . Οι παράμετροι στο S_2 , δηλαδή οι επακόλουθες παράμετροι ενός νευρο-ασαφούς συστήματος συμπεράσματος Sugeno, λαμβάνονται στη συνέχεια με τη χρήση του εκτιμητή ελαχίστων τετραγώνων στην (3.62) [53]. Μόλις προσδιοριστούν οι επακόλουθες παράμετροι στην S_2 , το μέτρο σφάλματος για κάθε ζεύγος δεδομένων εκπαίδευσης υπολογίζεται. Στο προς τα πίσω πέρασμα, το σήμα σφάλματος, δηλαδή το παράγωγο του μέτρου σφάλματος σε σχέση με

κάθε κόμβο εξόδου (εξισώσεις (3.35) και (3.36) για την έξοδο και για τους κρυφούς κόμβους, αντίστοιχα), διαδίδεται μέσω του δικτύου ξεκινώντας από την έξοδο και κινείται προς το άκρο εισόδου του δικτύου. Το διάνυσμα κλίσης, δηλαδή το παράγωγο του μέτρου σφάλματος σε σχέση με κάθε παράμετρο (3.37) έχει συσσωρευτεί για κάθε καταχώρηση δεδομένων εκπαίδευσης. Έχουν ληφθεί υπόψη όλα τα στοιχεία κατάρτισης στο τέλος του προς τα πίσω περάσματος, ο αλγόριθμος ανάστροφης διάδοσης ενημερώνει τις παραμέτρους $S1$, δηλαδή τις παραμέτρους παραδοχής ενός νευρο-ασαφούς συστήματος συμπεράσματος Sugeno, με απότομη κάθοδο (3.40) [53].

Η ενσωμάτωση του εκτιμητή ελαχίστων τετραγώνων για τον προσδιορισμό των παραμέτρων σε $S2$ εγγυάται βέλτιστες τιμές στο χώρο των παραμέτρων $S2$, για ένα δεδομένο σταθερό σύνολο παραμέτρων στο $S1$. Ως αποτέλεσμα αυτός ο υβριδικός αλγόριθμος εκμάθησης όχι μόνο μειώνει τη διάσταση του χώρου αναζήτησης, αλλά επιπλέον μειώνει σημαντικά το χρόνο που απαιτείται για τον προσαρμοστικό δίκτυο για να φθάσει στο επιθυμητό σημείο.

3.6

Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει τις βασικές έννοιες και αρχιτεκτονικές νευρωνικών δικτύων και ασαφούς λογικής και κάνει μια εισαγωγή στις διαδικασίες μάθησης των προσαρμοστικών δικτύων. Ανοίγει τον δρόμο για την κατανόηση των προσαρμοστικών δικτύων και δείχνει παραδείγματα για νευρο-ασαφή μοντελοποίησης των οποίων το ANFIS αποτελεί τη θεμέλιο βράχο του ερευνητικού αυτού προγράμματος. Το Κεφάλαιο 4 περιγράφει την προσομοίωση όλων των σχετικών σημάτων που συνδέονται με ANFIS κατάρτισης για την αξιόπιστη αναγνώριση των σημάτων EEP.

Κεφάλαιο 4: Μια νέα προσέγγιση για την προσομοίωση του ηλεκτρικού πεδίου της Γης σε ένα σημείο παρατήρησης

4.1

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κύριοι λόγοι για τους οποίους είναι σημαντικό να εργαζόμαστε με δεδομένα προσομοίωσης σχετικά με την αναγνώριση EPPs καθώς και μια νέα προσέγγιση για την προσομοίωση του ηλεκτρικού πεδίου της Γης σε ένα σημείο παρατήρησης αναπτύσσεται και εφαρμόζεται.

Οι κυριότερες δυσκολίες που προκύπτουν από την εφαρμογή οποιασδήποτε μεθόδου που αναπτύχθηκε για την ανάκτηση EPPs απευθείας από τα πραγματικά δεδομένα είναι οι ακόλουθες:

- Δεν υπάρχει καμία εγγύηση ότι οι εγγραφές ηλεκτρικού πεδίου περιέχουν σήματα EEPs. Αλλά ακόμα και αν υπάρχουν EEPs παρόντα προκύπτουν ερωτήματα ως προς: Πόσα είναι; Πού συμβαίνουν στο χρόνο; Ποια είναι η διάρκεια και το εύρος τους;

- Είναι απίθανο για ένα σύνολο ενδείξεων μετρητή ηλεκτρικού πεδίου να περιέχει όλες τις πιθανές δυνατότητες που συνοδεύουν το ηλεκτρικό πεδίο, όπως μαγνητοτελλουρικές διαταραχές που οφείλονται σε μαγνητικές καταιγίδες, ηλεκτροχημικό θόρυβο λόγω της βροχής, και ανθρωπογενείς θόρυβοι λόγω των ηλεκτρικών καλωδίων, ηλεκτρικά τρένα, εργοστάσια ισχύος, στην περιοχή γύρω από το σταθμό παρατήρησης.

Λόγω του χαμηλού ρυθμού δειγματοληψίας, συνήθως περίπου 1 Hz, αρκετές ώρες των δεδομένων απαιτούνται για οποιοσδήποτε ασφαλείς παρατηρήσεις σχετικά με το ηλεκτρικό πεδίο. Το γεγονός ότι η παρακολούθηση του ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να διαρκέσει για αρκετές ημέρες, ακόμα και εβδομάδες, προκειμένου να συλλάβει όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά για ένα συγκεκριμένο πείραμα μπορεί να είναι δαπανηρή, αν λάβει κανείς υπόψη τα έξοδα για την αποθήκευση δεδομένων και τη μεταφορά δεδομένων. Η εκπαίδευση και η αξιολόγηση των επιδόσεων των νευρο-ασαφών μοντέλων απαιτούν ένα μεγάλο ποσό των δεδομένων, όπως γίνεται σαφές σε όλο το Κεφάλαιο 6. Προκειμένου να ξεπεραστούν οι δυσκολίες που αναφέρθηκαν προηγουμένως σε αυτό το κεφάλαιο, όπως είναι ο χρόνος επεξεργασίας και η σύλληψη των κύριων χαρακτηριστικών του ηλεκτρικού πεδίου, θα απαιτείται ένα τεράστιο ποσό των πραγματικών δεδομένων. Ως εκ τούτου η

απόφαση έγινε για να προσομοιώσουν το μαγνητικό πεδίο της Γης και η αντίσταση tensor στη θέση του σταθμού παρατήρησης κοντινά στα Χανιά, Ελλάδα, και για να παράγουν τις ηλεκτρικές χρονοσειρές σύμφωνα με τις εξισώσεις του Maxwell [54].

4.2 μ μ **Maxwell**

Η βασική προσέγγιση της μαγνητοτελλουρικής [11,12,54] που χρησιμοποιείται στην εφαρμοσμένη γεωφυσική είναι η μέτρηση των επαπτομενικών (οριζόντιων) συστατικών τόσο των ηλεκτρικών όσο και μαγνητικών πεδίων σε ένα σημείο παρατήρησης στην επιφάνεια της Γης. Τα σήματα μετρήθηκαν σε δύο κάθετες κατευθύνσεις: χ και γ είναι οι κατευθύνσεις που χρησιμοποιούνται για να συγκεντρωθούν οι ηλεκτρικές και μαγνητικές παρατηρήσεις πεδίου. Κατεύθυνση x συνήθως αποδίδεται στην κατεύθυνση ανατολής-δύσης, και γ δηλώνει την κατεύθυνση βορρά-νότου.

Στην περίπτωση ομοιομορφίας ένα δεύτερο μέσο χώρο της δομής της Γης, το ηλεκτρικό πεδίο E_x στην κατεύθυνση χ και το μαγνητικό πεδίο H_y στην κατεύθυνση γ στο σημείο παρατήρησης σχετίζονται με την σύνθετη αντίσταση $Z_{\chi\gamma}$ του μέσου σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση:

$$E_x = Z_{\chi\gamma} H_y \quad (4.1)$$

Ομοίως, εάν η μαγνητική πεδίου H_x στην κατεύθυνση X μετριέται, τότε το αντίστοιχο ηλεκτρικό πεδίο είναι στην κατεύθυνση γ (δηλαδή E_y) και δίνεται από:

$$E_y = Z_{\gamma x} H_x \quad (4.2)$$

Αυτοί οι τύποι προέρχονται από τις εξισώσεις Maxwell απουσία τυχόν πρόσθετων ηλεκτρικών διαταραχών συσχετισμένων με το μαγνητικό πεδίο. Σε αυτή την περίπτωση, σύμφωνα με τις εξισώσεις Maxwell, στο πεδίο των συχνοτήτων η σχέση μεταξύ των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων σε μια ιδιαίτερη συχνότητα είναι γραμμική, έτσι η

σύνθετη αντίσταση μαγνητοτελλουρικής τ tensor Z ορίζεται σε συμβολισμό: $E = H Z$. Η σύνθετη αντίσταση Z τ tensor συνήθως εκφράζεται ως δεύτερη βαθμίδα tensor της μορφής:

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

όπου Z_{xx} , Z_{xy} , Z_{yx} , Z_{yy} είναι τα στοιχεία της σύνθετης αντίστασης Z tensor, και εξαρτώνται από τη γεωλογική δομή του εδάφους στο σημείο παρατήρησης. Για ένα ομοιόμορφο μέσο ημιχώρου της δομής της Γης στο σημείο παρατήρησης, το οποίο είναι η περίπτωση για αυτό το πρόγραμμα έρευνας, η σύνθετη αντίσταση στοιχεία tensor Z_{xx} και Z_{yy} είναι αμφότερα ίσα με μηδέν. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της εξίσωσης 4.3 με τις εξισώσεις 4.1 και 4.2, όπως είδαμε και προηγουμένως.

Σε μια διαδικασία προσομοίωσης, οι προαναφερθείσες σχέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη του επαγόμενου σήματος ηλεκτρικού πεδίου εάν το αντίστοιχο σήμα μαγνητικού πεδίου μετριέται επί μια καθορισμένη δομή και η μαγνητική διαπερατότητα καθώς και η αγωγιμότητα του εδάφους στο σημείο παρατήρησης είναι γνωστές, προκειμένου να υπολογίσουν τον tensor εμπέδησης (ενότητα 4.4). Έτσι, μπορούν να βρεθούν τυχόν διαφορές μεταξύ των αναμενόμενων σημάτων ηλεκτρικού πεδίου και το μετρούμενου σήματος, συμπεριλαμβανομένων των EEPs εντός του μετρούμενου σήματος ηλεκτρικού πεδίου.

4.3 μ μ

Η προσέγγιση που υιοθετείται σε αυτό το ερευνητικό πρόγραμμα είναι να προσομοιώσει πρώτα σήματα που αντιπροσωπεύουν το μαγνητικό πεδίο της Γης [55], στη συνέχεια, να αντλήσει από αυτές τα αντίστοιχα σήματα ηλεκτρικού πεδίου. Εκτός από τα σημεία που διατυπώνονται στην ενότητα 4.1, η απόφαση αυτή επηρεάζεται επίσης από την έλλειψη των δεδομένων των μετρήσεων του μαγνητικού πεδίου στο ίδιο σημείο παρατήρησης όπου ελήφθησαν οι ηλεκτρικές ηχογραφήσεις. Η συχνότητα δειγματοληψίας που χρησιμοποιείται σε όλες τις προσομοιώσεις, και ως εκ τούτου, για τις προσομοιώσεις του μαγνητικού πεδίου, ήταν ότι το 1 Hz αντιστοιχεί στην πιο κοινή συχνότητα δειγματοληψίας που χρησιμοποιείται για την καταγραφή αυτών των σημάτων κατά τη διάρκεια ερευνών πεδίου [18,27].

Τα κύρια χαρακτηριστικά του μαγνητικού πεδίου της Γης [56] είναι εκείνα μιας χαοτικής χρονοσειράς των οποίων η φασματική πυκνότητα συνάρτηση ικανοποιεί τη σχέση:

$$S(\xi) \propto \xi^{-r}$$

(4.4)

Η ακόλουθη εξίσωση χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση του μαγνητικού πεδίου της Γης χρησιμοποιώντας μία σειρά (σειρά Fourier) $N / 2$ αρμονικών συσχετιζόμενων ημιτονοειδών συστατικών με εύρος να ικανοποιούν το παραπάνω κριτήριο, και τυχαίες φάσεις:

$$x(n) = \sum_{k=1}^{N/2} \left[Ck^{-a} \left(\frac{2f}{N} \right)^{1-a} \right] \cos \left(\frac{2fkn}{N} + \xi_k \right)$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, N - 1$$

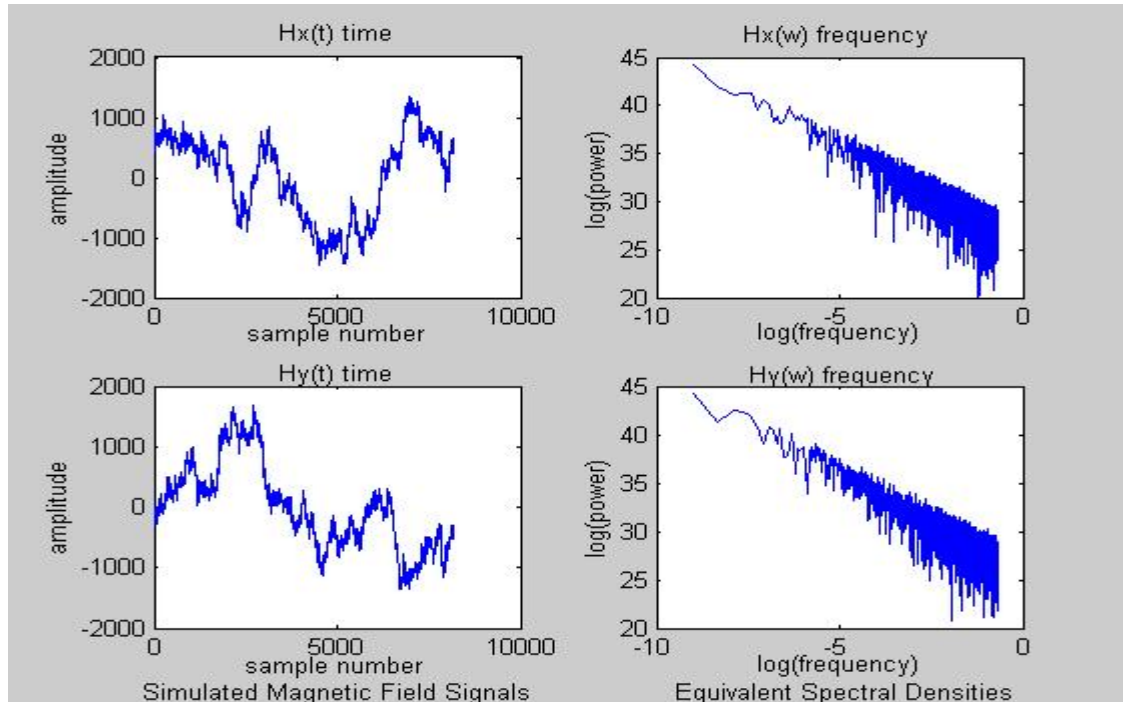
(4.5)

όπου C είναι ένας παράγοντας κλιμάκωσης και ξ_k είναι $N / 2$ φάσεις τυχαία κατανεμημένες στην κλίμακα από 0 έως 2π .

Ο παραπάνω αλγόριθμος για την προσομοίωση του μαγνητικού πεδίου της Γης έχει υλοποιηθεί (βλ. παράρτημα 4) και εξετάζοντας τα αποτελέσματα μπορεί να φανεί στο σχήμα 4.1 (σχεδιασμένη για $a = 2$ και $N = 8192$).

- Subplots $H_x(t)$ και $H_y(t)$ δείχνουν το πεδίο του χρόνου για την προσομοίωση μαγνητικού σήματος πεδίου.

-Subplots $H_x(\omega)$ και $H_y(\omega)$ δείχνουν, σε ένα διάγραμμα log-log, την κλίση της φασματικής πυκνότητας των σημάτων H_1 και H_2 , αντίστοιχα, να είναι ίση προς-ένα (δηλαδή -2), όπως απαιτείται.



μ 4.1 μ μ

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Οι κλίμακες πλάτους των σημάτων στο πεδίο του χρόνου είναι αυθαίρετες (που παράγονται χρησιμοποιώντας μια τιμή C που επιλέγεται έτσι ώστε να δώσει σήματα με ένα εύρος περίπου ± 2.000 , που αντιστοιχεί σε 2,000 nT όπως παρατηρείται σε πραγματικές μετρήσεις). Αντίστοιχα, οι τιμές ισχύος καταγραφής στα αγροτεμάχια πεδίου της συχνότητας είναι πολύ μεγάλες, αλλά είναι επίσης και αυθαίρετες. Ο σκοπός αυτών των καταγραφών είναι να δείξει ότι τα σήματα έχουν την απαιτούμενη φασματική πυκνότητα.

4.4 μ Tensor

Kaufman Keller, [11] : μ μ , Zxy, :

$$Z_{xy} = \sqrt{\frac{\tilde{\sigma}}{\dagger}} e^{-jf/4} \quad (4.6)$$

όπου ω καθορίζει τη συχνότητα, μ είναι η διαπερατότητα του υλικού του εδάφους (χώματος για αυτό το πρόγραμμα έρευνας), σ είναι η αγωγιμότητα του υλικού του εδάφους, και το j είναι το σύμπλοκο φορέα (δηλαδή $J2 = -1$).

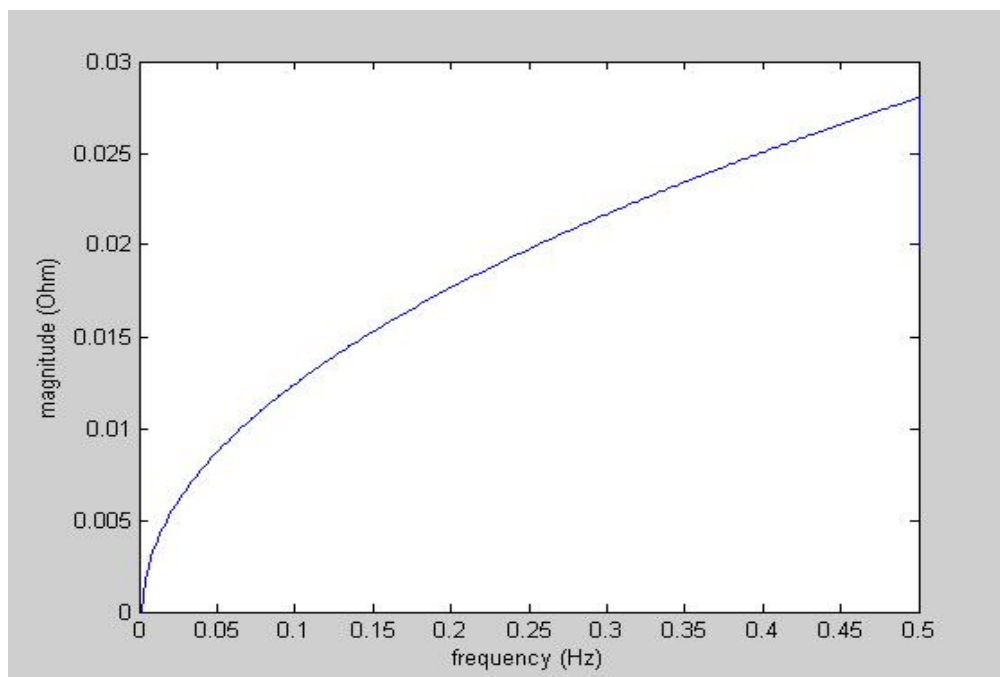
Ομοίως, το στοιχείο της σύνθετης αντίστασης Tensor, Z_{yx} , δίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$Z_{yx} = \sqrt{\frac{\tilde{S}}{\dagger}} e^{j3f/4} \quad (4.7)$$

Είναι σαφές από τις παραπάνω εξισώσεις ότι οι σύνθετες αντιστάσεις Z_{xy} και Z_{yx} είναι ίσες σε μέγεθος, αλλά έχουν διαφορετικές φάσεις. Z_{xy} έχει μια φάση -45° , ενώ Z_{yx} έχει μια φάση 130° : δεδομένου ότι η διαφορά φάσης μεταξύ των δύο είναι 180° , η σχέση μεταξύ Z_{xy} και Z_{yx} είναι εμφανής:

$$Z_{yx} = -Z_{xy} \quad (4.8)$$

Το Σχήμα 4.2 δείχνει το μέγεθος του στοιχείου σύνθετης αντίστασης Tensor Z_{xy} (και, σύμφωνα με τη σχέση τους, Z_{yx}) υπολογισμένο για το κατάλληλο εύρος συχνοτήτων (δηλαδή έως 0,5 Hz).



Σχήμα 4.2 Μέγεθος αντίστασης Tensor στοιχεία Z_{xy} και Z_{yx} υπολογίζονται για ένα εύρος συχνοτήτων έως 0,5 Hz

4.5 μ

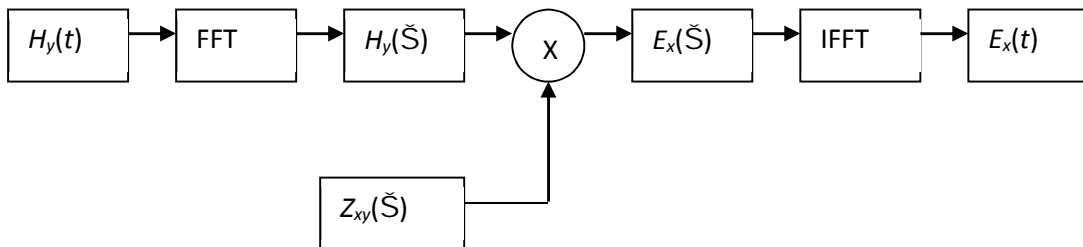
Έχοντας προσομοιώσει τα μαγνητικά σήματα πεδίου στο πεδίο του χρόνου και στο πεδίο των συχνοτήτων, και έχοντας υπολογίσει τη σύνθετη αντίσταση του ομοιογενούς σε ένα δεύτερο χώρο για την κατάλληλη περιοχή συχνοτήτων (δηλαδή μέχρι 0.5 Hz), τα σήματα ηλεκτρικού πεδίου υπολογίστηκαν στο πεδίο των συχνοτήτων, χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις [12]:

$$E_x(\check{S}) = Z_{xy}(\check{S}) H_y(\check{S}) \quad (4.9)$$

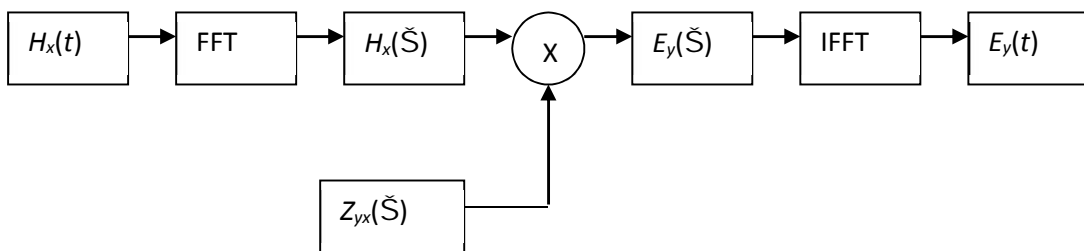
$$E_y(\check{S}) = Z_{yx}(\check{S}) H_x(\check{S}) \quad (4.10)$$

όπου $Z_{yx}(\omega)$ και $Z_{xy}(\omega)$ και για λόγους απλότητας, τα στοιχεία εμπέδησης ομοιογενών ημιχώρου. Τα σήματα ηλεκτρικού πεδίου στο πεδίο του χρόνου στη συνέχεια προσδιορίζονται με εφαρμογή του αντίστροφου ταχύ μετασχηματισμού Fourier στα προκύπτοντα σήματα στο πεδίο των συχνοτήτων.

4.3 4.4:

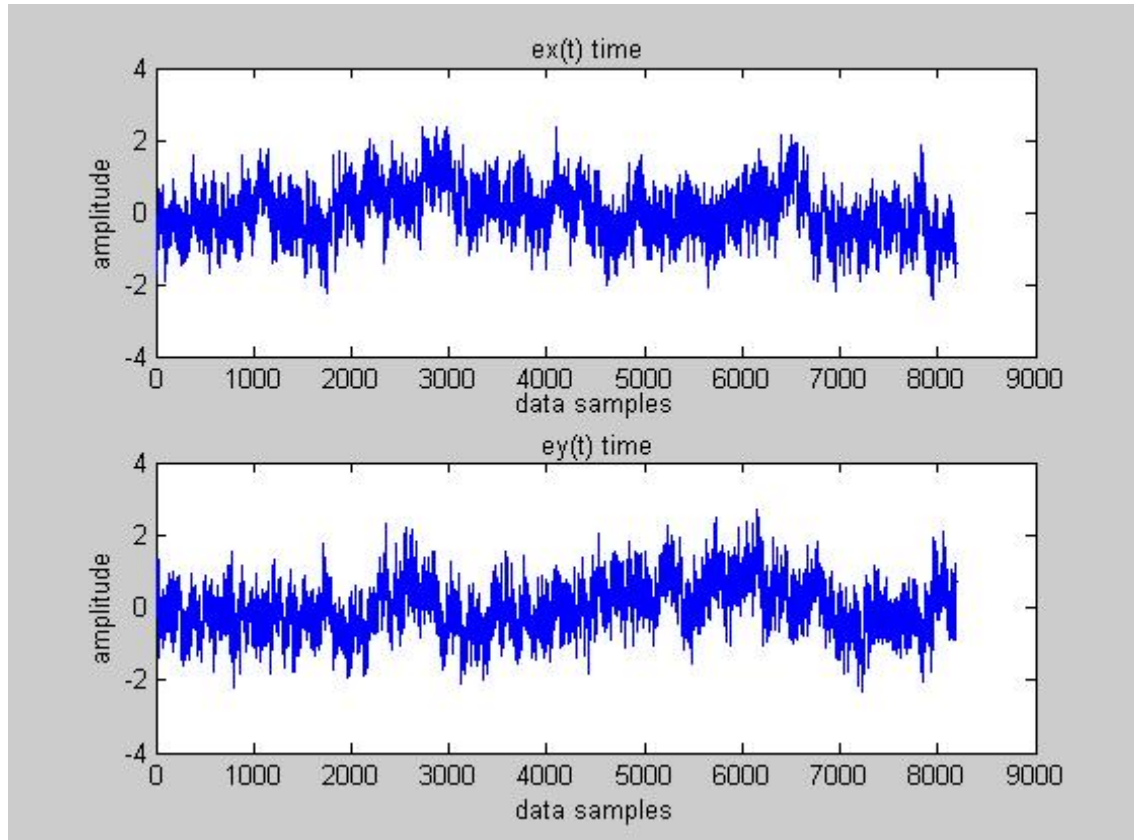


Εικόνα 4.3 Κατασκευή προσομοίωσης του ηλεκτρικού πεδίου χρονοσειρών στην κατεύθυνση NS



Σχήμα 4.4 Κατασκευή προσομοίωσης του ηλεκτρικού πεδίου χρονοσειρών στην κατεύθυνση A-Δ

Το σχήμα 4.5 δείχνει τα προσομοιωμένα ηλεκτρικά σήματα στον τομέα E_x και E_y που παράγονται από τους υπολογισμένους Tensor Z_{xy} και Z_{yx} , και τα προσομοιωμένα μαγνητικά πεδία H_y και H_x , αντίστοιχα.



Σχήμα 4.5: Προσομοίωση ηλεκτρικού πεδίου χρονοσειρών. Οι κλίμακες πλάτους των σημάτων είναι αυθαίρετες με ένα εύρος περίπου ± 2 , που αντιστοιχεί σε 2 mV όπως παρατηρείται σε πραγματικές μετρήσεις.

4.6 μ

Υπάρχουν δύο τύποι τυχαίου θορύβου που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την εκτέλεση προσομοίωσης των μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων:

- Ο θόρυβος που προκαλείται από μαγνητικές καταιγίδες, ο οποίος επηρεάζει το μαγνητικό πεδίο, και ως εκ τούτου, ουσιαστικά εμφανίζεται τόσο στις παρατηρήσεις του μαγνητικού πεδίου όσο και του ηλεκτρικού [16] ? εξαιτίας της άμεσης σχέσης των δύο στο πεδίο της συχνότητας σύμφωνα με τις εξισώσεις του Μάξγουελ.
- Ο θόρυβος που προκαλείται από τη βροχή (ηλεκτροχημικός θόρυβος που οφείλεται στην αλλαγή της δυναμικής επαφής μεταξύ των ηλεκτροδίων και του υλικού του εδάφους στο

σταθμό παρατήρησης, τα ηλεκτρικά τρένα, σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, κλπ. στην περιοχή του σταθμού παρατήρησης (πολιτιστικές / ανθρωπογενών θορύβων) επηρεάζει κυρίως το ηλεκτρικό πεδίο και έχει μικρή επίδραση στο μαγνητικό πεδίο [16].

Συνήθως, προορίζεται για ένα σταθμό παρακολούθησης που θα συσταθεί μακριά από ανθρωπογενείς πηγές θορύβου. Αυτό περιορίζει την επίδραση στις ηλεκτρικές ηχογραφήσεις σε δύο συγκεκριμένες πηγές παραγωγής θορύβου:

- Ο θόρυβος της μαγνητικής φύσης επηρεάζει το μαγνητικό πεδίο και ως εκ τούτου εμφανίζεται στο ηλεκτρικό πεδίο, που προκαλείται από μαγνητικές καταιγίδες.

- Θόρυβος της ηλεκτρικής (ηλεκτροχημικής) φύσης οφείλεται σε αλλαγές του υλικού επαφής του εδάφους και των ηλεκτροδίων του σταθμού παρατήρησης, ειδικά κατά τη διάρκεια ή μετά από βροχή.

Από την παρατήρηση των αποτελεσμάτων οι συνεργάτες μας στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Ελλάδος, εκτιμούν ότι ο λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR) και στις δύο περιπτώσεις είναι περίπου 10:1, δηλαδή 20 dB [57].

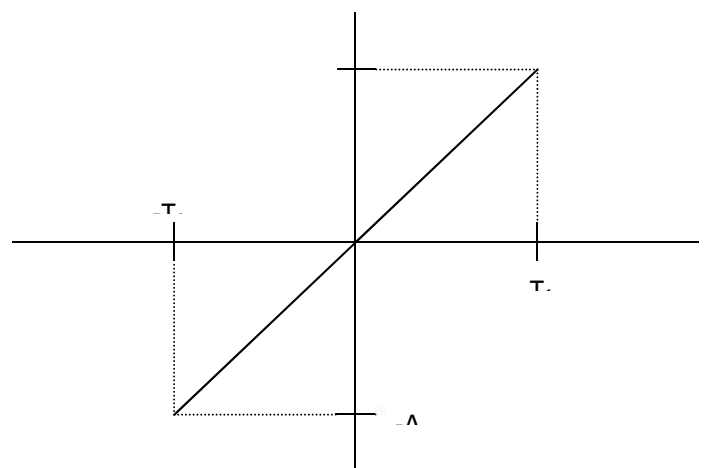
Για την προσομοίωση των μοντέλων θορύβου τυχαίοι αριθμοί από την ίδια πιθανότητα και γραμμική κατανομή από κορυφή σε κορυφή έχουν χρησιμοποιηθεί, καθώς δεν υπάρχει ειδική ένδειξη προκατάληψης προς ένα συγκεκριμένο επίπεδο τυχαίου θορύβου [57]. Εργασία με τις rms (μέση τετραγωνική ρίζα) της γραμμικής σήματος με μηδενική μέση φαίνεται στο σχήμα 4.6:

$$average = \frac{1}{2T_1} \int_{-T_1}^{T_1} \frac{A}{T_1} t dt$$

(4.11)

και επειδή κατά μέσο όρο = 0:

$$\frac{A}{2T_1^2} \left[\frac{t^2}{2} \right]_{-T_1}^{T_1} = 0 \quad (4.12)$$



μ 4.6 μ μ μ μ

Υποθέτοντας ότι τυχαίος θόρυβος έχει μηδενική μέση τιμή και αιχμές της συμμετρικής αξίας και σε συνεργασία με την ενεργό τιμή του γραμμικού σήματος οδηγεί σε:

$$\begin{aligned} rms_{noise} &= \sqrt{\frac{1}{2T_1} \int_{-T_1}^{T_1} \left(\frac{At}{T_1}\right)^2 dt} \\ &= \sqrt{\frac{A^2}{2T_1^3} \int_{-T_1}^{T_1} t^2 dt} \\ &= \sqrt{\frac{A^2}{2T_1^3} \left[\frac{t^3}{3}\right]_{-T_1}^{T_1}} \\ &= \sqrt{\frac{A^2}{6T_1^3} (T_1^3 + T_1^3)} \\ &= \sqrt{\frac{1}{3}} A \end{aligned}$$

(4.13)

Δεδομένου ότι A είναι η κορυφή του σήματος θορύβου, τότε:

$$rms_{noise} = \sqrt{\frac{1}{3}} peak_{noise}$$

(4.14)

Λύνοντας ως προς peaknoise

$$peak_{noise} = \sqrt{3} rms_{noise}$$

(4.15)

Όμως, σύμφωνα με το σήμα της εξίσωσης του θορύβου, η μέση τιμή τετραγωνικής ρίζας του θορύβου είναι ίση με την μέση τιμή τετραγωνικής ρίζας του σήματος πάνω από το σήμα της αναλογίας του θορύβου, δηλαδή

$$SNR = \frac{rms_{signal}}{rms_{noise}}$$

(4.16)

Ως εκ τούτου:

$$rms_{noise} = \frac{rms_{signal}}{SNR}$$

(4.17)

Υποκαθιστώντας rmsnoise σύμφωνα με την τελευταία εξίσωση στην εξίσωση για τον υπολογισμό της peaknoise δείχνει ότι:

$$peak_{noise} = \sqrt{3} \frac{rms_{signal}}{SNR} \quad (4.18)$$

Ως εκ τούτου, η μέγιστη τιμή του προσομοιωμένου σήματος τυχαίου θορύβου μπορεί να υπολογιστεί για την απαιτούμενη αναλογία σήματος προς θόρυβο ($SNR = 10$) μετά τη μέτρηση της τιμής rms του πραγματικού σήματος. Έτσι, για να δημιουργήσει προσομοιωμένο τυχαίο θόρυβο χρονοσειρών γραμμικής κατανομής, οι τυχαίοι αριθμοί της ίσης πιθανότητας που παράγεται χρησιμοποιώντας μια τυχαία συνάρτηση με πλάτος μεταξύ-peaknoise και peaknoise (βλέπε παράρτημα 4).

Για άλλη μια φορά η κατανομή του Gauss χρησιμοποιείται ευρέως στη μοντελοποίηση τυχαίων σημάτων θορύβου [58,59]. Έτσι, κρίθηκε αναγκαίο να προσομοιώσει και να πειραματιστεί με το θόρυβο της κατανομή του Gaussian, καθώς και με το θόρυβο της γραμμικής κατανομής. Για το σκοπό αυτό μια παρόμοια προσέγγιση ελήφθη όπου τυχαία σήματα θορύβου σε γραμμική κατανομή παρήχθησαν όπως φαίνεται στο προσάρτημα 4.

Προκειμένου να προσομοιώσει τα ηλεκτρικά και μαγνητικά σήματα πεδίου με ενσωματωμένο προσομοιωμένο τυχαίο θόρυβο, ακολουθήθηκε η ακόλουθη διαδικασία [60]:

α) Τα μαγνητικά σήματα πεδίου δομήθηκαν στο πεδίο του χρόνου όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 4.3.

β) τυχαίος θόρυβος προστέθηκε στα μαγνητικά σήματα πεδίου με ένα κατάλληλο σήμα στην αναλογία του θορύβου (SNR) (π.χ. 20 dB), και τα συνακόλουθα θορυβώδη σήματα μαγνητικού πεδίου μετασχηματίστηκαν στο πεδίο των συχνοτήτων.

γ) Τα σήματα ηλεκτρικού πεδίου στο πεδίο των συχνοτήτων προήλθαν από τα θορυβώδη σήματα μαγνητικού πεδίου με την εφαρμογή της μεθόδου μαγνητοτελλουρικής, και τα

αντίστοιχα σήματα στο πεδίο του χρόνου προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας ένα αντίστροφο μετασχηματισμό.

$$\mu \quad \mu \quad \text{SNR (. . 20 dB).}$$

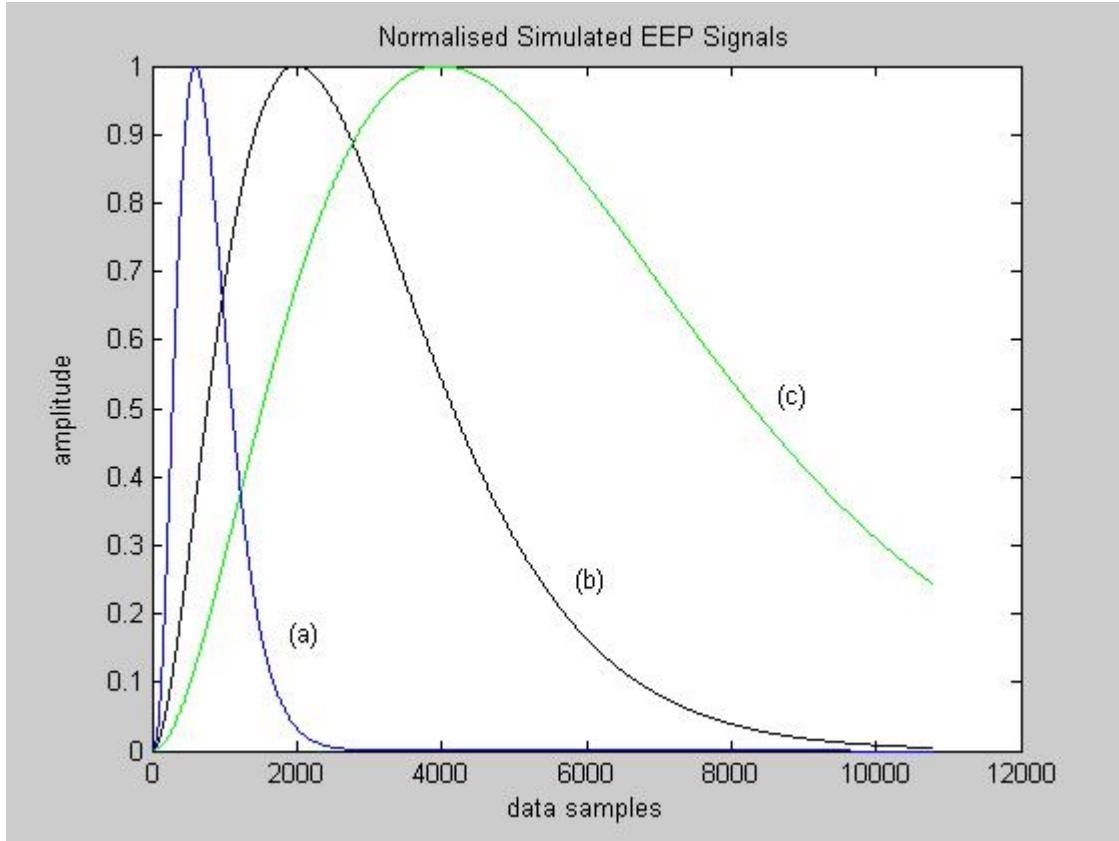
4.7 μ μ

Υπάρχουν μερικά διαφορετικά είδη σημάτων που θεωρούνται ότι είναι υποσχόμενοι υποψήφιοι για ενδείξεις ηλεκτρικού σεισμού. Προσπαθώντας να αναγνωρίσουμε όλα αυτά ταυτόχρονα είναι ακατάλληλο, είτε λόγω του ασαφούς χαρακτήρα είτε λόγω έλλειψης επιστημονικής περιγραφής των περισσότερων από αυτών. Η αρχική προσέγγιση που χρησιμοποιείται σε αυτή την εργασία είναι να ασχοληθούμε με ένα συγκεκριμένο τύπο της EEP, η οποία βασίζεται σε ένα ισχυρό θεωρητικό υπόβαθρο, δηλαδή κανονικοποιημένες συναρτήσεις του χρόνου που περιγράφουν την εξέλιξη του αριθμού των πολλαπλασιαστικών ρωγμών, όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο 2 [16,17 , 22,23]. Αυτό το είδος της EEP μπορεί να περιγραφεί από τον ακόλουθο τύπο:

$$E(t) = (A t)^{\beta} e^{-\lambda t} \quad (4.19)$$

στην οποία το β ελέγχει το ρυθμό της αύξησης του σήματος, ενώ το λ ελέγχει την φθορά, και το A είναι ένας συντελεστής κλίμακας για τον έλεγχο του πλάτους της EEP.

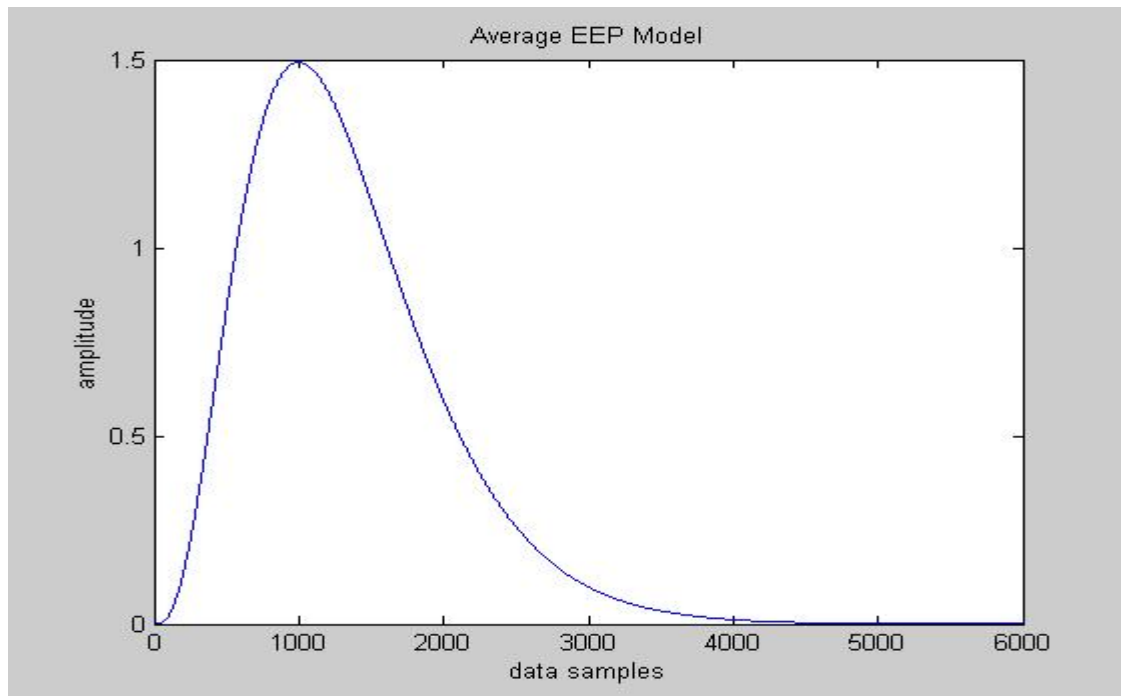
Το Σχήμα 4.7 δείχνει τρία σήματα, καθένα από τα οποία κανονικοποιείται να έχει ένα μέγιστο πλάτος της ενότητας, που έχουν παραχθεί χρησιμοποιώντας τον παραπάνω τύπο.



Σχήμα 4.7 Προσομοίωση Κανονικοποιημένων EEPs Σημάτων

- a) $A = 0.2 \times 10^{-7}$ = 3 = 5×10^{-3}
- b) $A = 0.3 \times 10^{-6}$ = 2 = 1×10^{-3}
- c) $A = 0.2 \times 10^{-7}$ = 2 = 5×10^{-4}

Ακόμη και σε αυτή την κατάσταση, τα σήματα EEPs διαφέρουν από άποψη μεγέθους και διάρκειας. Ως εκ τούτου, ήταν απαραίτητο για ένα μέσο μοντέλο να αναπτυχθεί με το μέγεθος και τη διάρκεια που συμπίπτουν με εκείνα από τα πιο συχνά εμφανίζονται σήματα EEPs. Σύμφωνα με τους συνεργάτες σεισμολόγους μας στο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Ελλάδος, αυτά θεωρούνται ότι είναι περίπου 1,5 mV / m για το εύρος του μέσου σήματος EEP και περίπου μία ώρα και δέκα λεπτά με μία ώρα και δεκαπέντε λεπτά (1h.10min-1h.15min) όσον αφορά τη διάρκειά της [17,22].

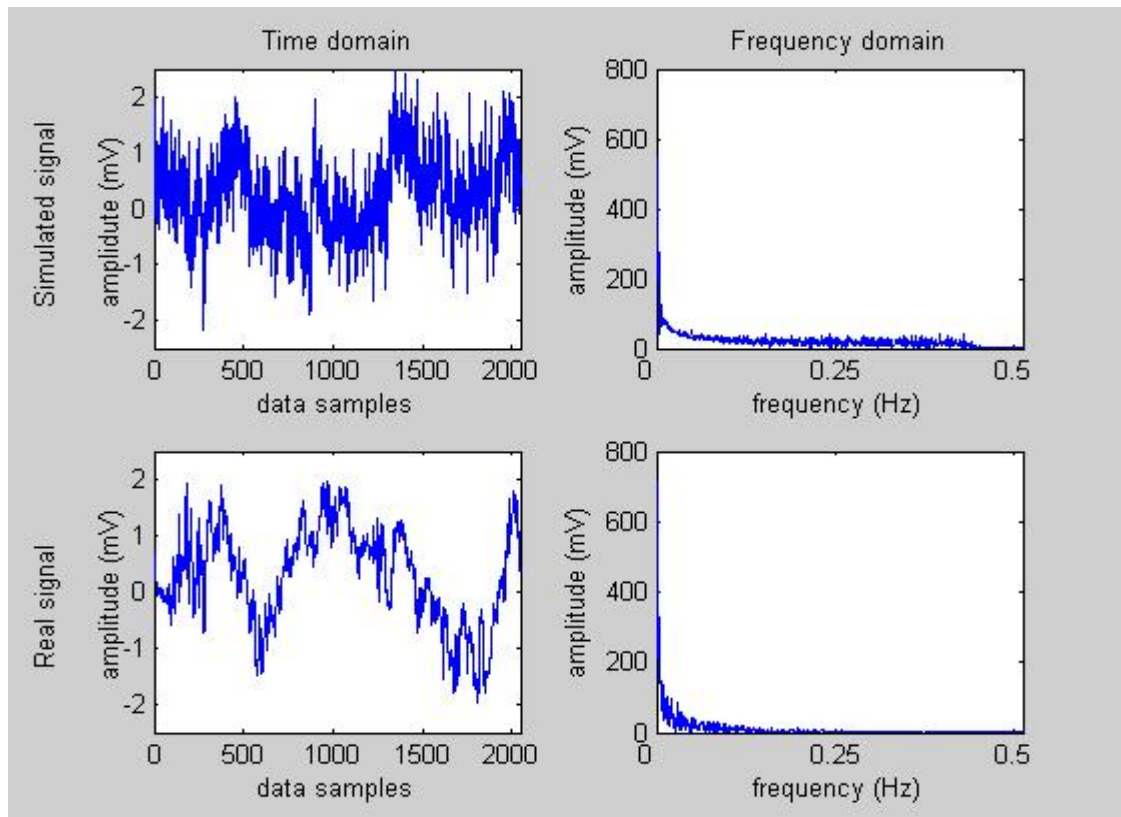


Σχήμα 4.8 προσομοιωμένη μέσο μοντέλο EEP με 15mV / m πλάτους και διάρκειας περίπου 75 λεπτών

Άπαξ, έχουν κατασκευαστεί, τα προσομοιωμένα μέσα σήματα EEPs προστίθενται στην προσομοίωση, ενσωματωμένα σε τυχαίο θόρυβο ηλεκτρικού πεδίου χρονοσειρών.

4.8

Η επιτυχής προσομοίωση των σημάτων EEPs και το ηλεκτρικό πεδίο της Γης επιλύει το ζήτημα της αξιοπιστίας της αναγνώρισης των σημάτων EEPs μέσα από το ηλεκτρικό φόντο. Επιπλέον επιτρέπει την αποτελεσματική και αξιόπιστη κατάρτιση των νευρο-ασαφών μοντέλων για την ίδια εργασία, με όλα τα δεδομένα που προσομοιώνεται, ή με τη χρήση πραγματικών μετρήσεων ηλεκτρικό μετρητή πεδίου με ενσωματωμένο προσομοίωση σήματα EEP. Πρέπει να σημειωθεί όμως ότι ο τύπος που συζητήθηκε από τους Kaufman και Keller για τον υπολογισμό της Tensor αντίστασης προϋποθέτει έναν απόλυτα ομοιογενές μισοχώρο, ο οποίος είναι μάλλον απίθανο να είναι η περίπτωση της φύσης. Ως αποτέλεσμα προσομοιωμένων δεδομένων φέρουν υψηλότερη ενεργειακή συνιστώσα στο ανώτερο τμήμα του φάσματος συχνοτήτων από το πραγματικό ηλεκτρικό σήμα πεδίου όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.9.



Σχήμα 4.9 Σύγκριση των προσομοιωμένων και πραγματικών σημάτων ηλεκτρικού πεδίου στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας.

5 : μ μ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα από κάποια πειράματα που κάναμε, δημιουργώντας νευρο-ασαφή συστήματα μέσω της πλατφόρμας του MATLAB. Σε αυτά τα νευρο-ασαφή συστήματα χρησιμοποιήσαμε δεδομένα για τις μεταβολές του Μαγνητικού πεδίου Hx από σταθμό κοντά στα Χανιά Κρήτης Ελλάδας . Πάνω σε αυτές τις μεταβολές έχουν βασιστεί κυρίως τα παρακάτω Πειράματα. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε περιλαμβάνονται στο cd που εσωκλείεται μαζί με την πτυχιακή εργασία.

Στα παρακάτω πειράματα εκπαιδεύσαμε τα συστήματα ώστε μέσα από τις ενδείξεις τους να μπορούμε να αντιληφθούμε πιθανές σεισμικές δονήσεις. Παραθέτουμε τα πειράματα στα οποία είχαμε κάποιες καλές ενδείξεις. Στο Cd περιλαμβάνονται και τα πειράματα που κάναμε συνολικά στα οποία είχαμε αδιάφορα αποτελέσματα.

Σε αυτό το σημείο θα εξηγήσω κάποιες εντολές που χρησιμοποιήσαμε για την εκπαίδευση αυτών των συστημάτων

Genfis1→ Η συνάρτηση αυτή παράγει τα αρχικά μέλη των συναρτήσεων, τα οποία κατανέμουν σε ίσα διαστήματα και καλύπτου εξ' ολοκλήρου τον χώρο εισόδου.

Anfis→ Προσαρμόζει τα νευροζωνικά σε Sugeno types fis

Evalfis→ Μας βγάζει τα αποτελέσματα στην έξοδο.

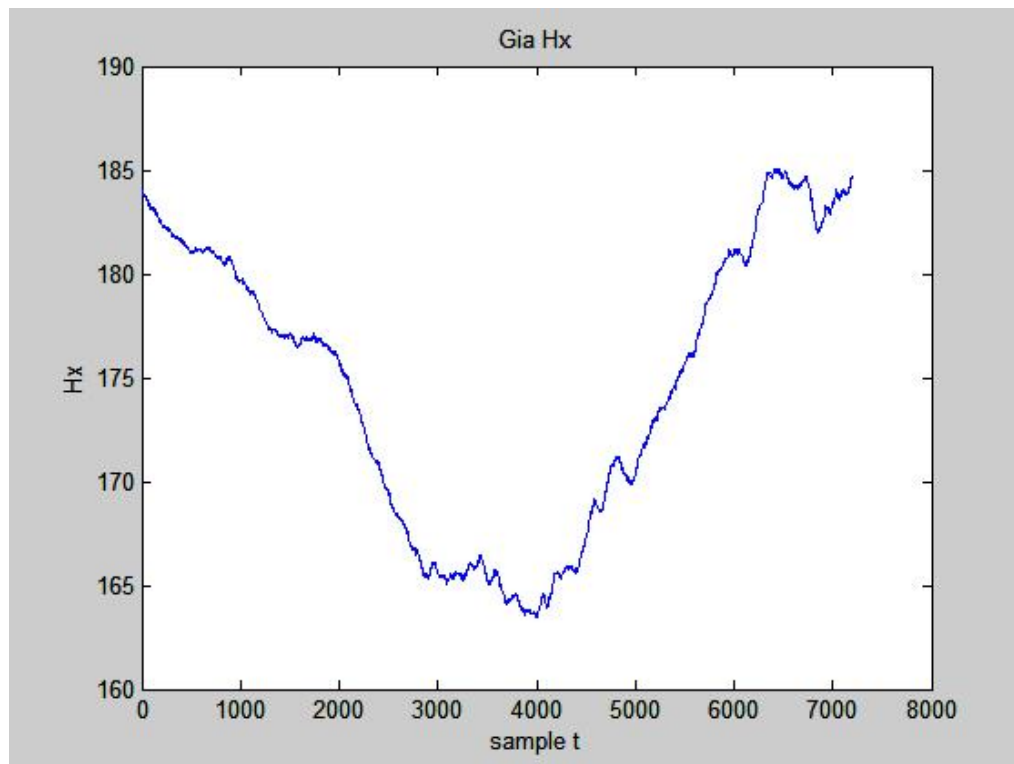
5.1 μ

Πείραμα 1^ο

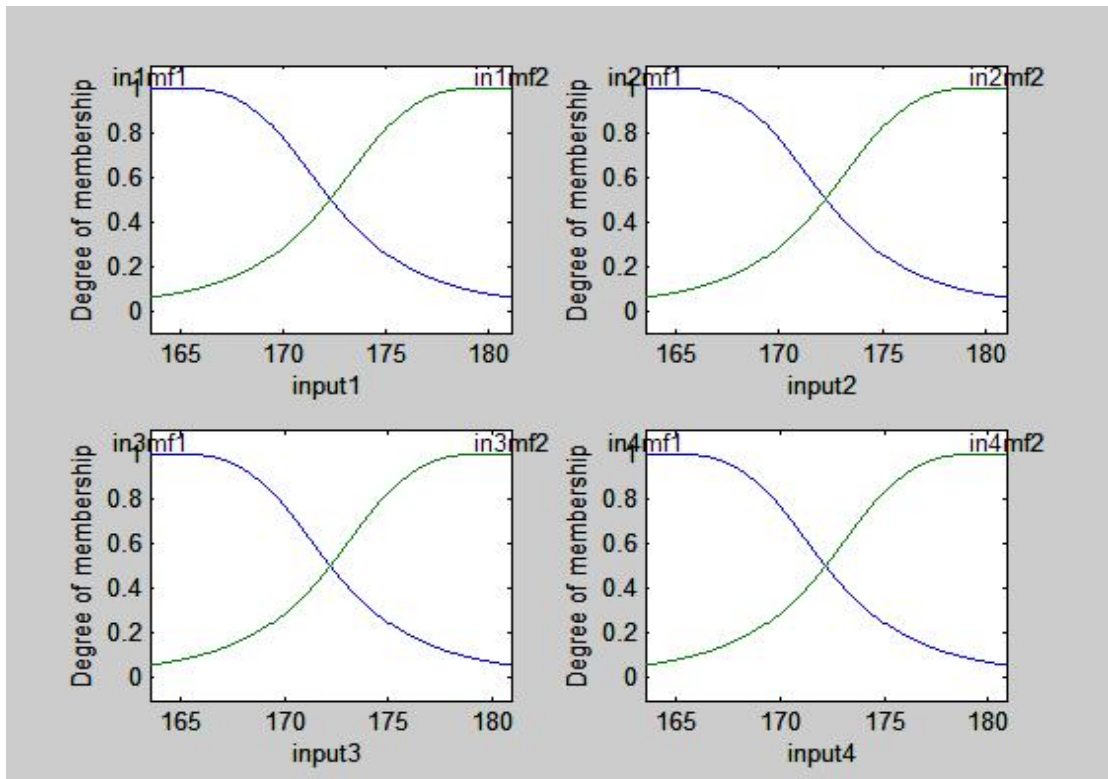
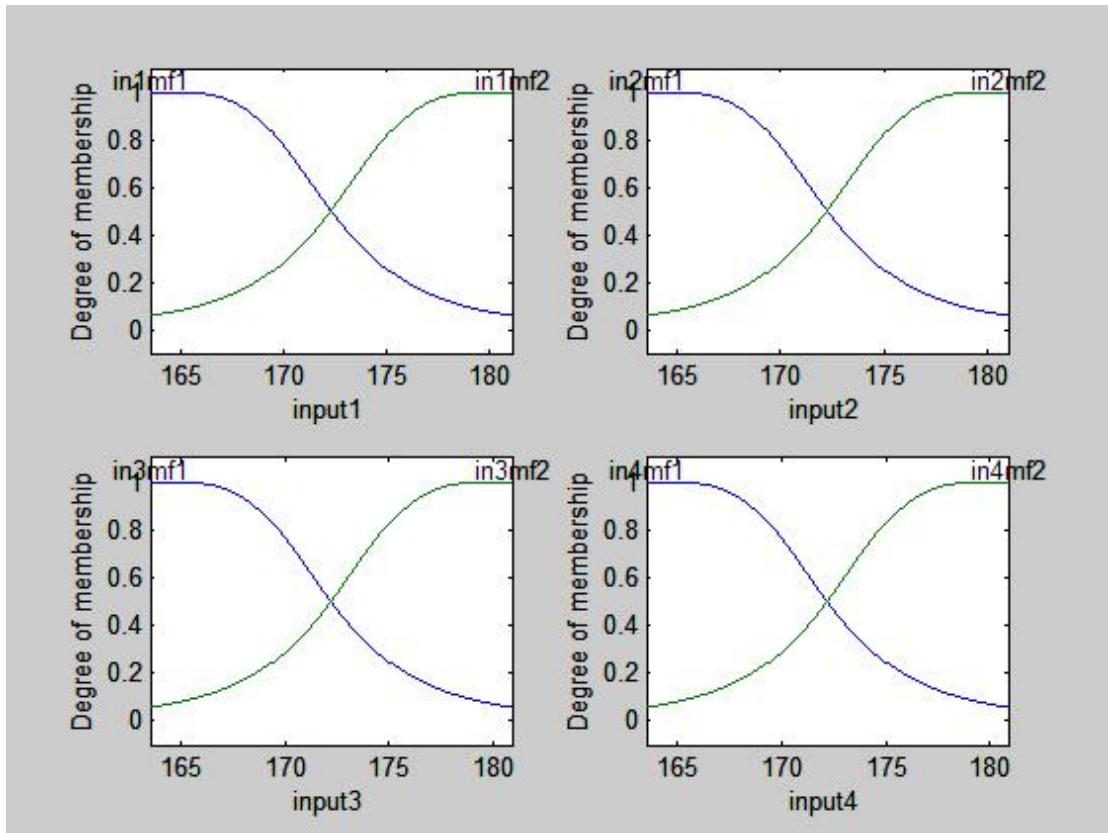
Δεδομένα	data211205.dat
Δείγμα	7201 έως 14400
Για t	t-18, t-12, t-6, t, t+1
Όνομα αρχείου	peirA2.m
Όνομα .fis	peirA2test.fis
Για πειραματισμό	testpeirA2.m

Αποτελέσματα μετά από εκπαίδευση:

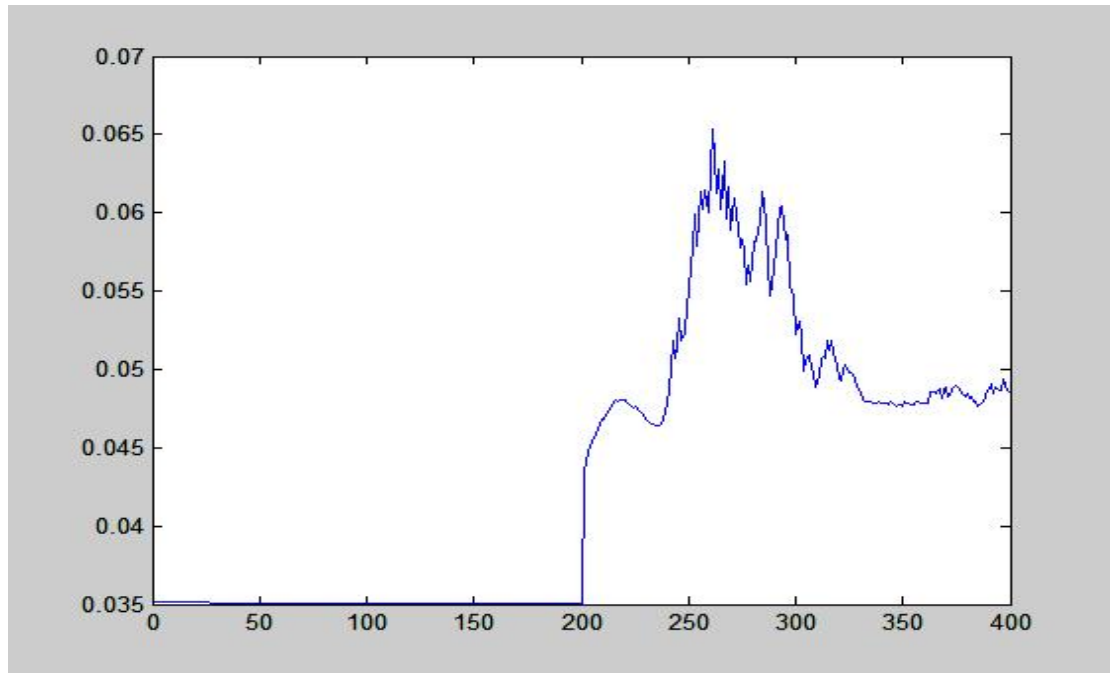
Για Δείγμα:



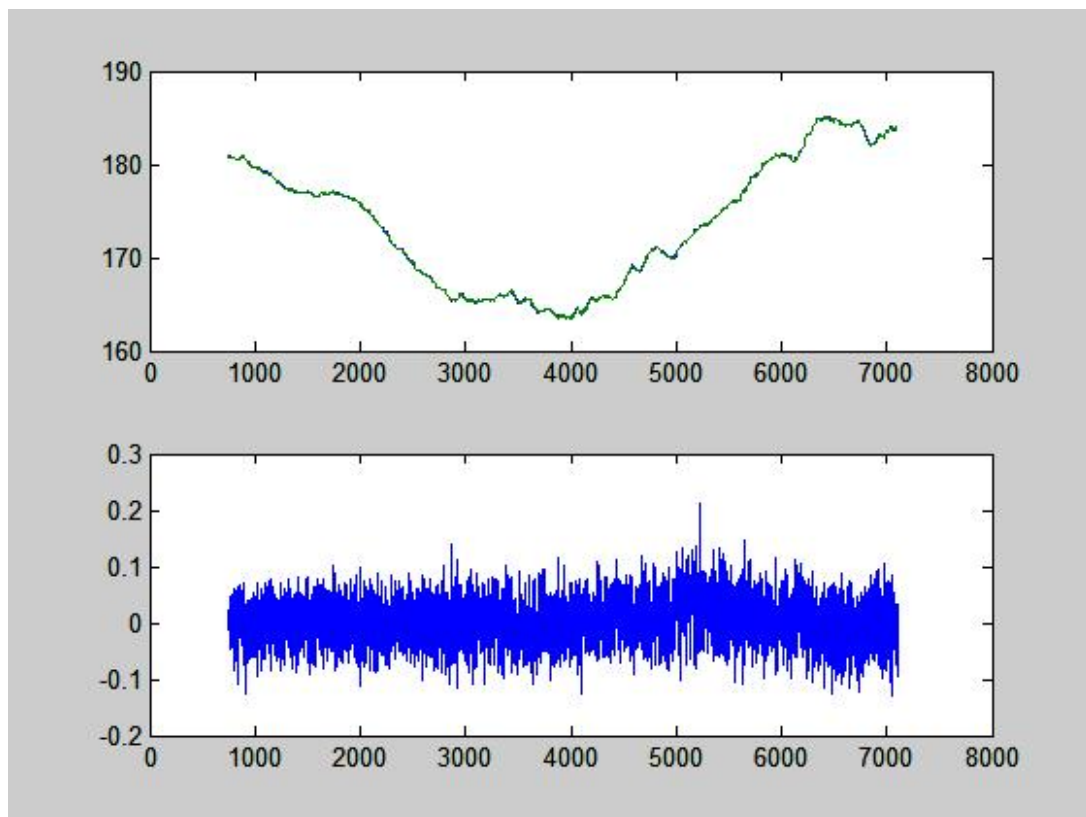
Για εισόδους:



Με σφάλμα:



Το τελικό αποτέλεσμα:



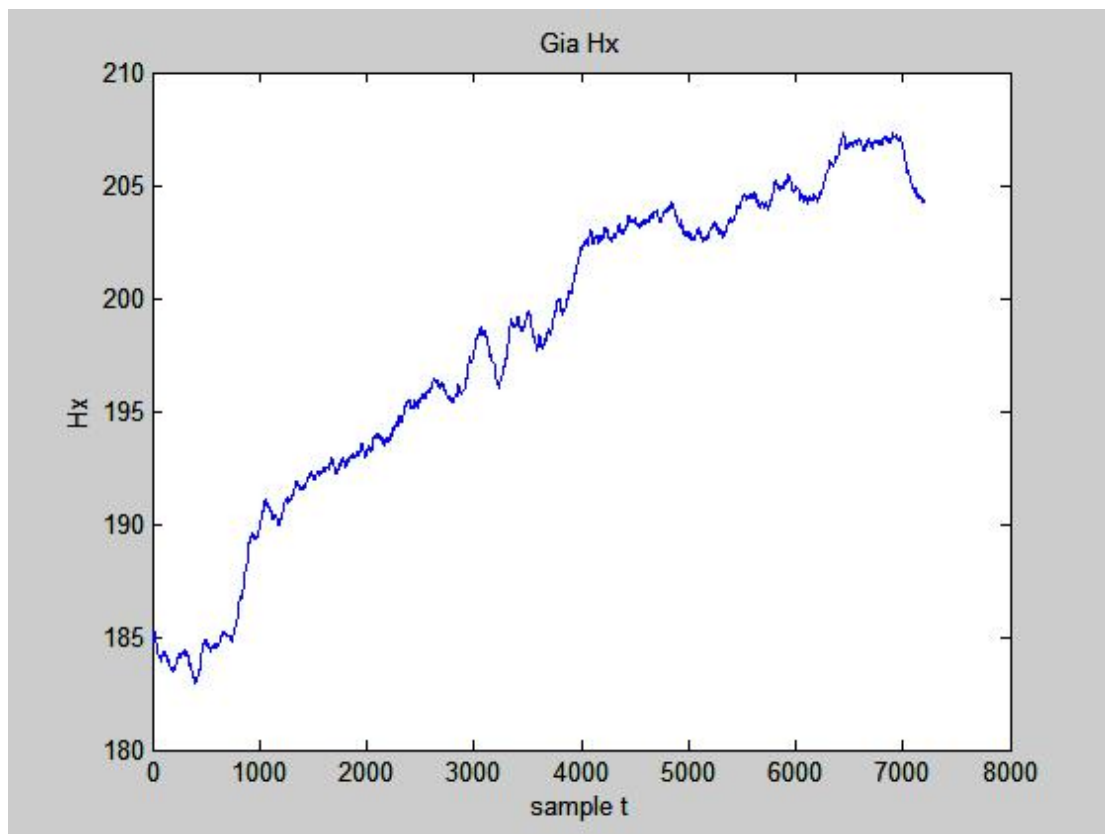
Στο τελικό αποτέλεσμα παρατηρούμε κάποια Spikes που πολύ πιθανόν να έχουνε σχέση με σεισμική δόνηση.

Πείραμα 2^ο

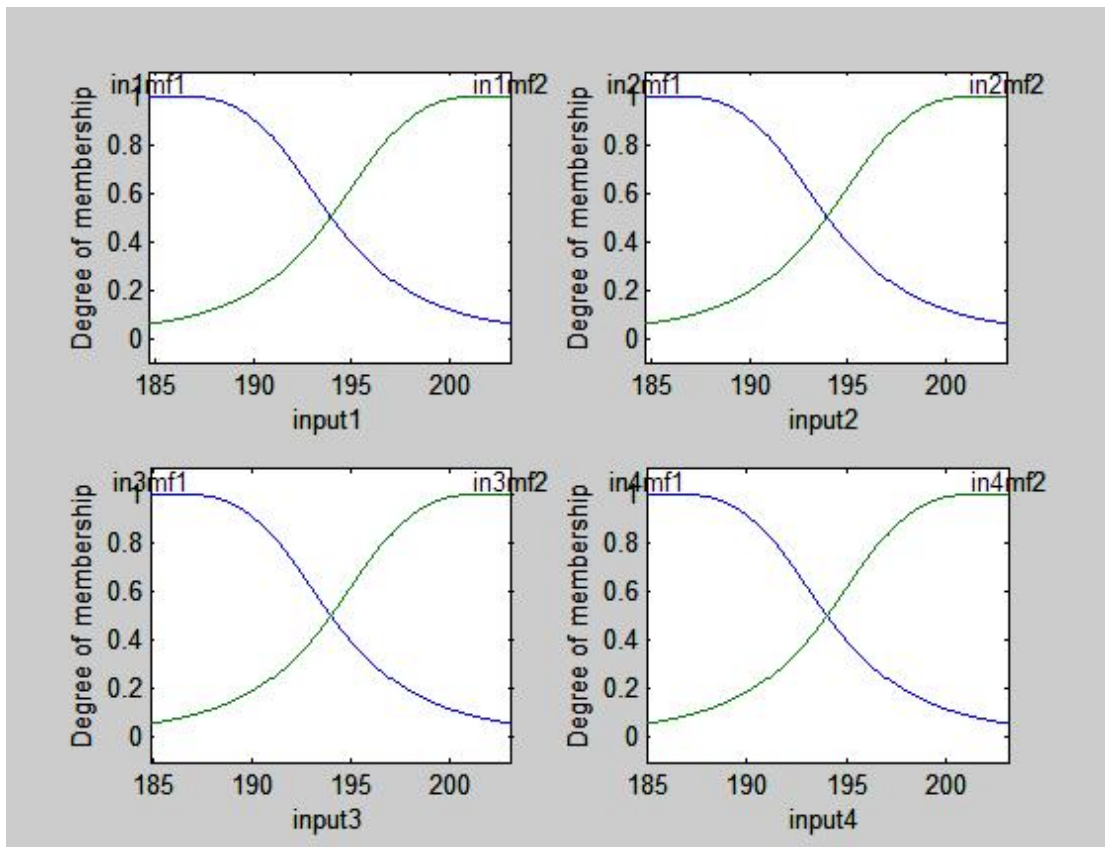
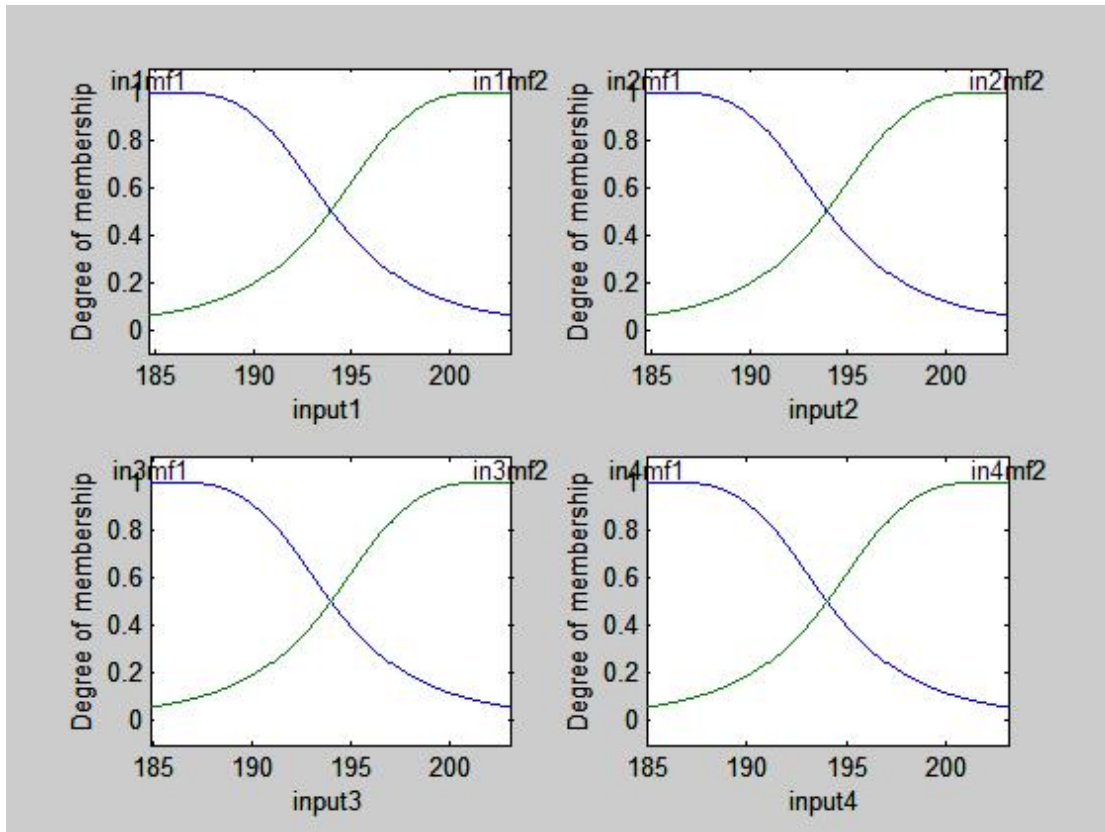
Δεδομένα	data211205.dat
Δείγμα	14401 έως 21600
Για t	t-18, t-12, t-6, t, t+1
Όνομα αρχείου	peirA3.m
Όνομα .fis	peirA3test.fis
Για πειραματισμό	testpeirA3.m

Αποτελέσματα μετά την εκπαίδευση :

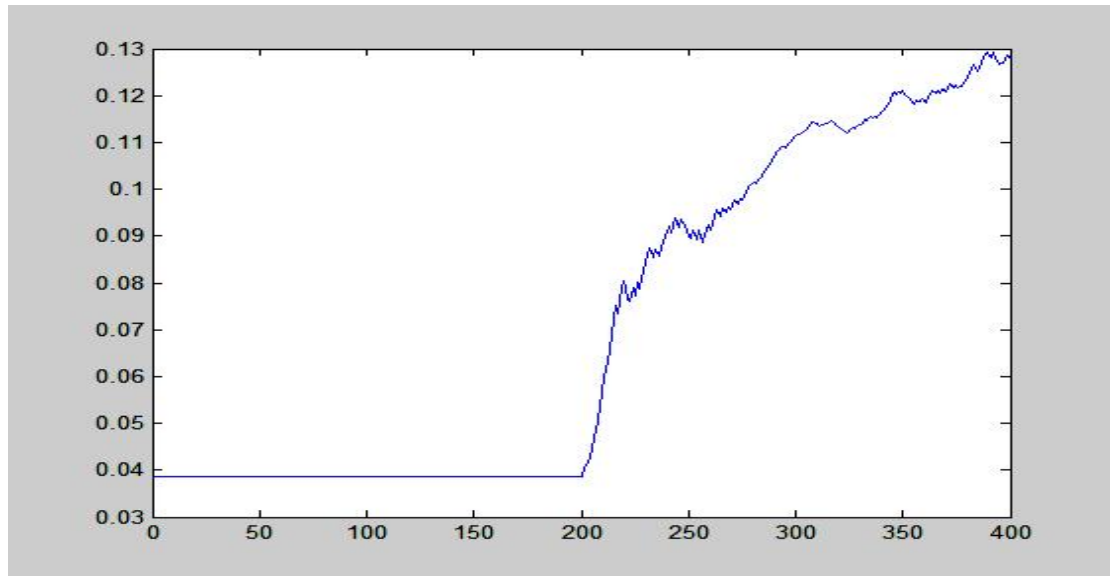
Για Δείγμα:



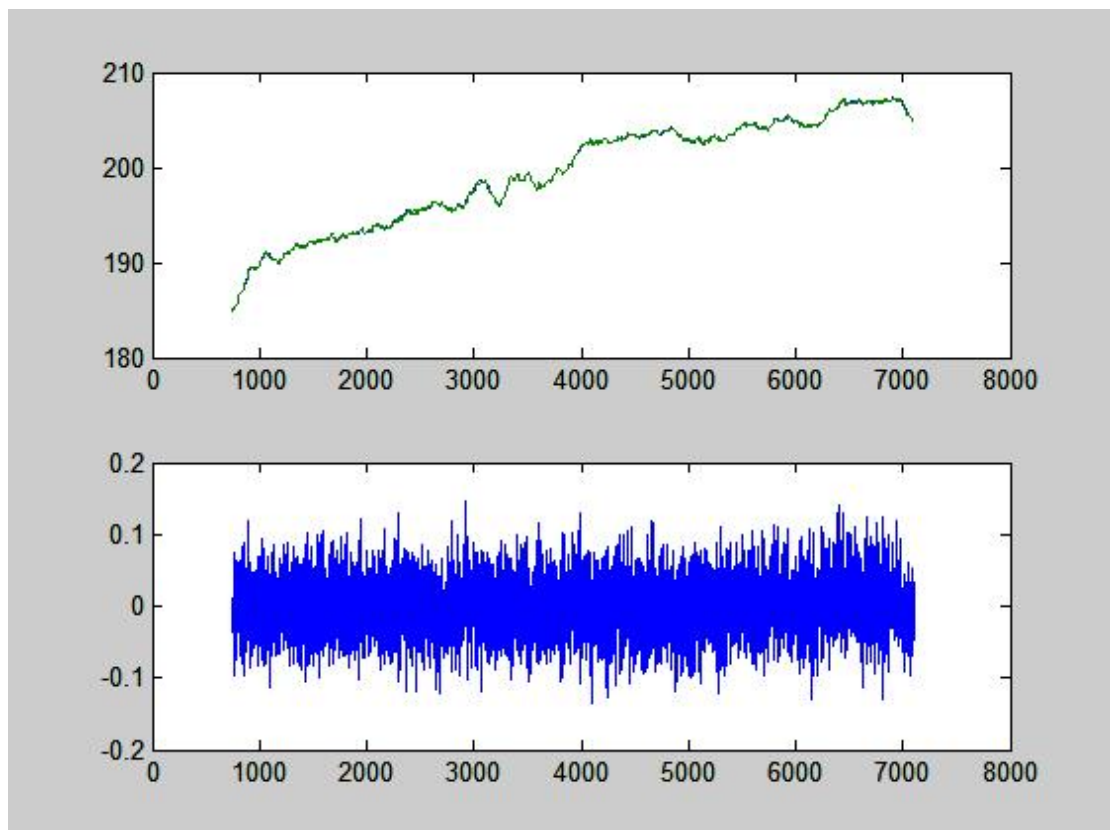
Για εισόδους:



Με σφάλμα:



Το τελικό αποτέλεσμα:



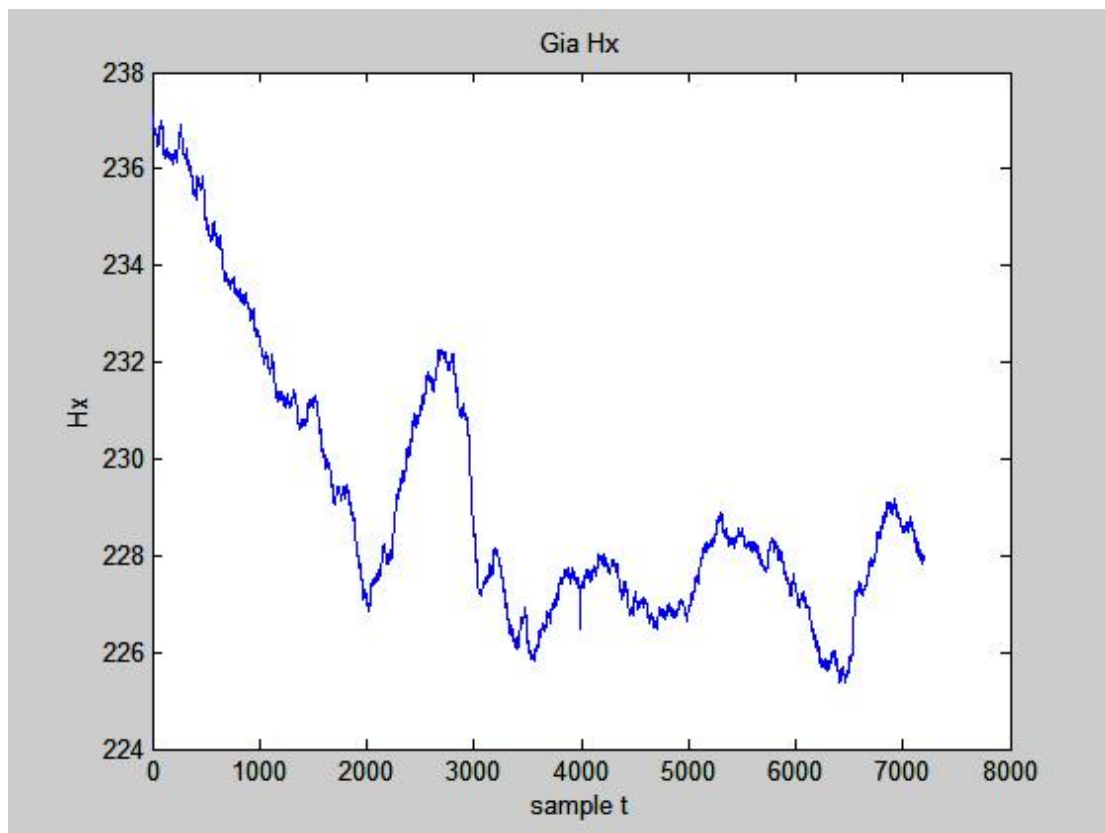
Επίσης σε αυτό το πείραμα παρατηρούμε πολλές μη κανονικές μεταβολές του Ηχ.

Πείραμα 3^ο

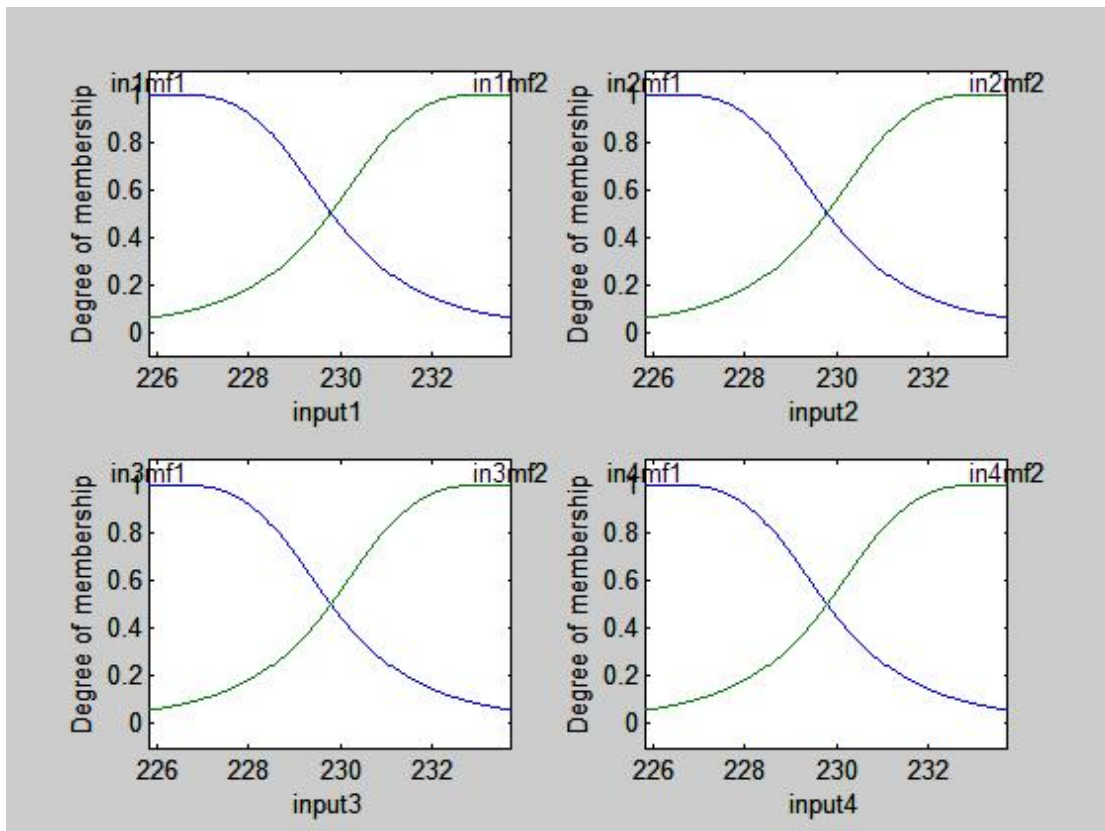
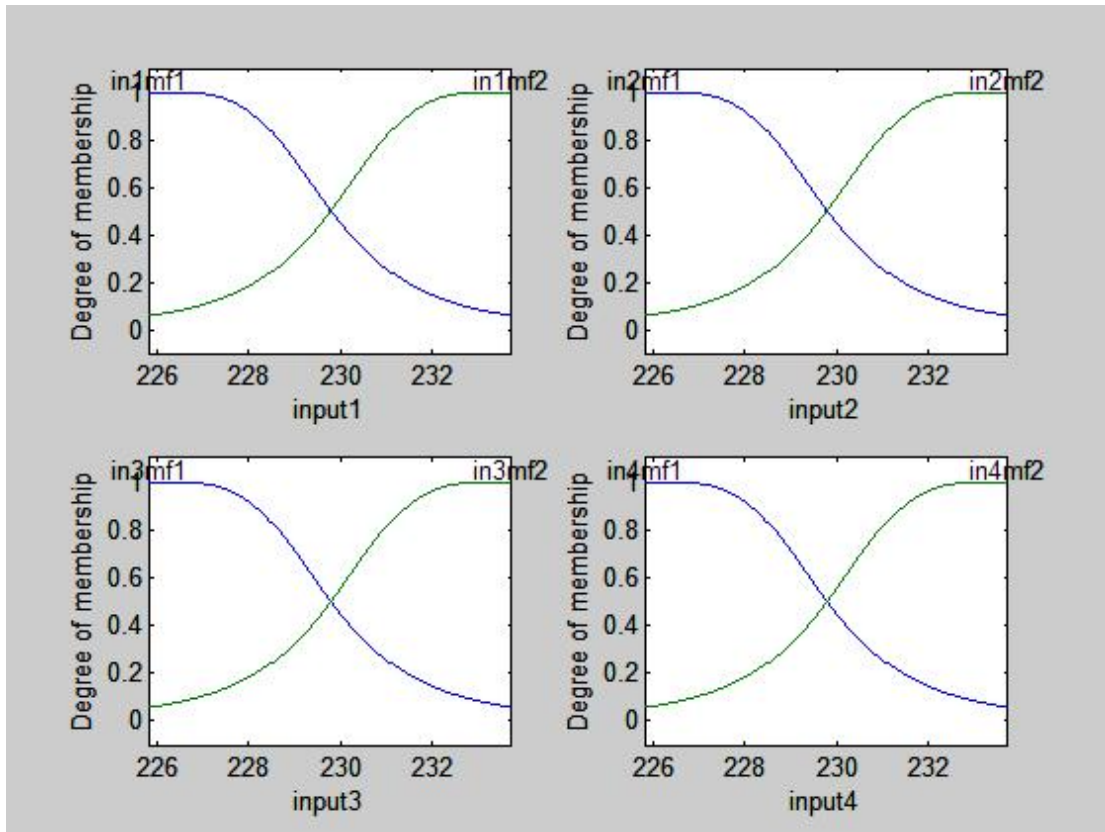
Δεδομένα	data211205.dat
Δείγμα	43201 έως 50400
Για t	t-18, t-12, t-6, t, t+1
Όνομα αρχείου	peirA7.m
Όνομα .fis	peirA7test.fis
Για πειραματισμό	testpeirA7.m

Αποτελέσματα μετά την εκπαίδευση :

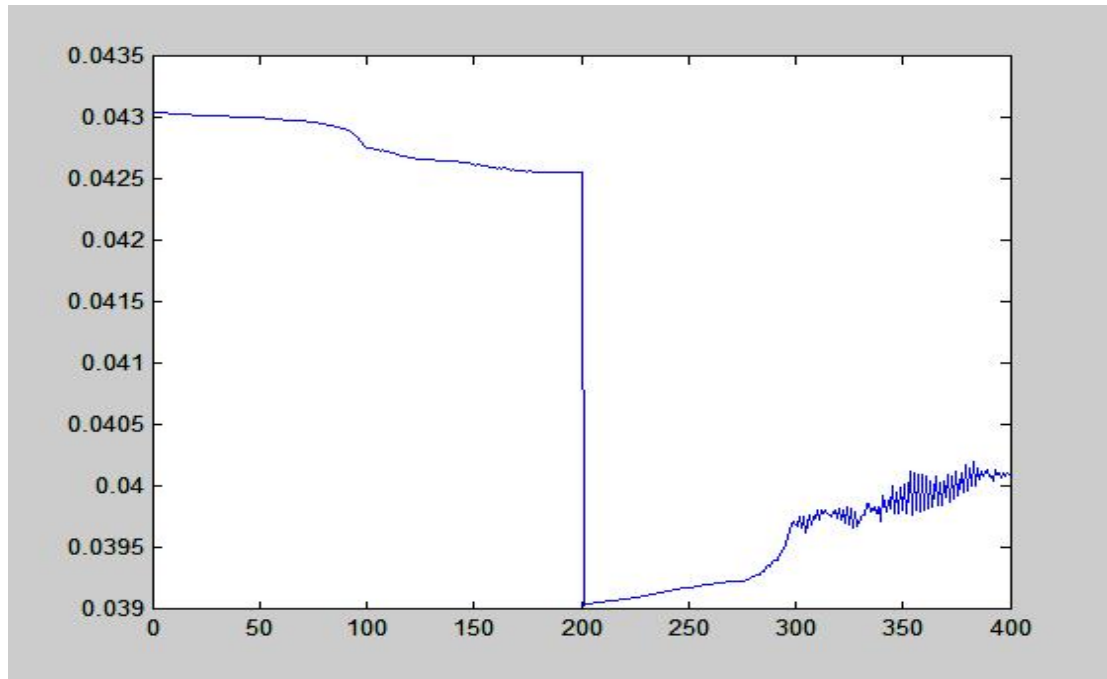
Για δείγμα:



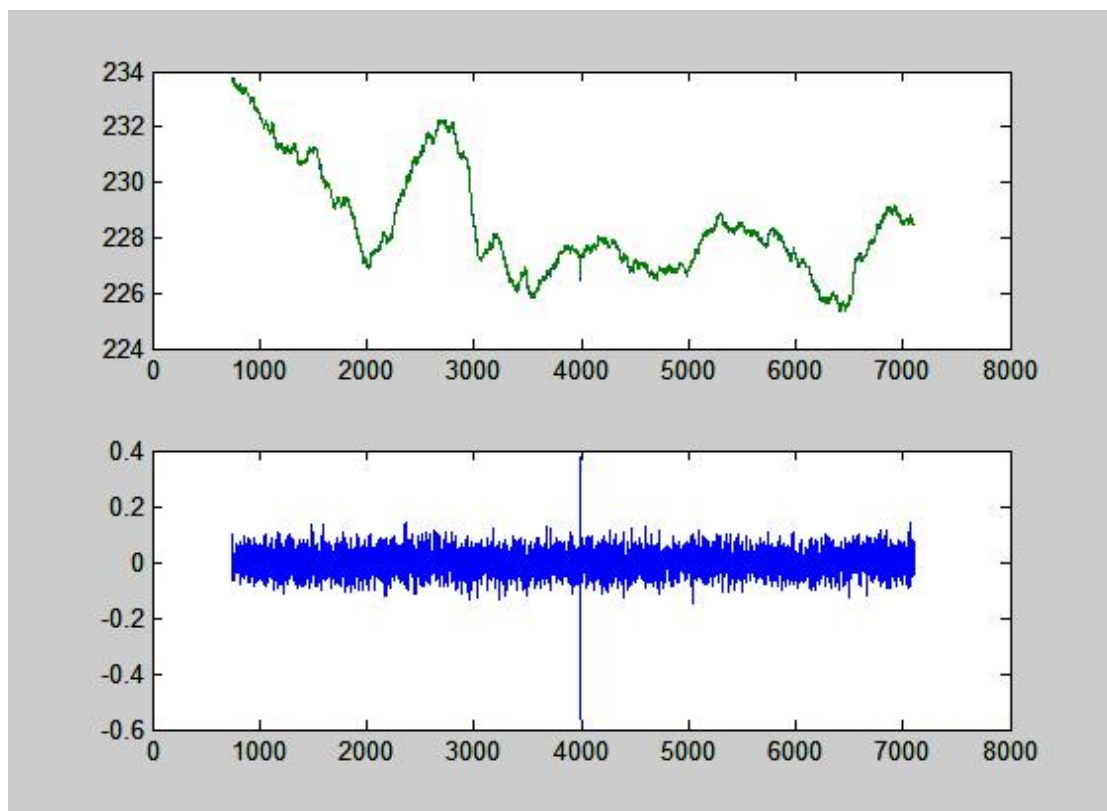
Για εισόδους:



Με σφάλμα:



Τα τελικά αποτελέσματα:



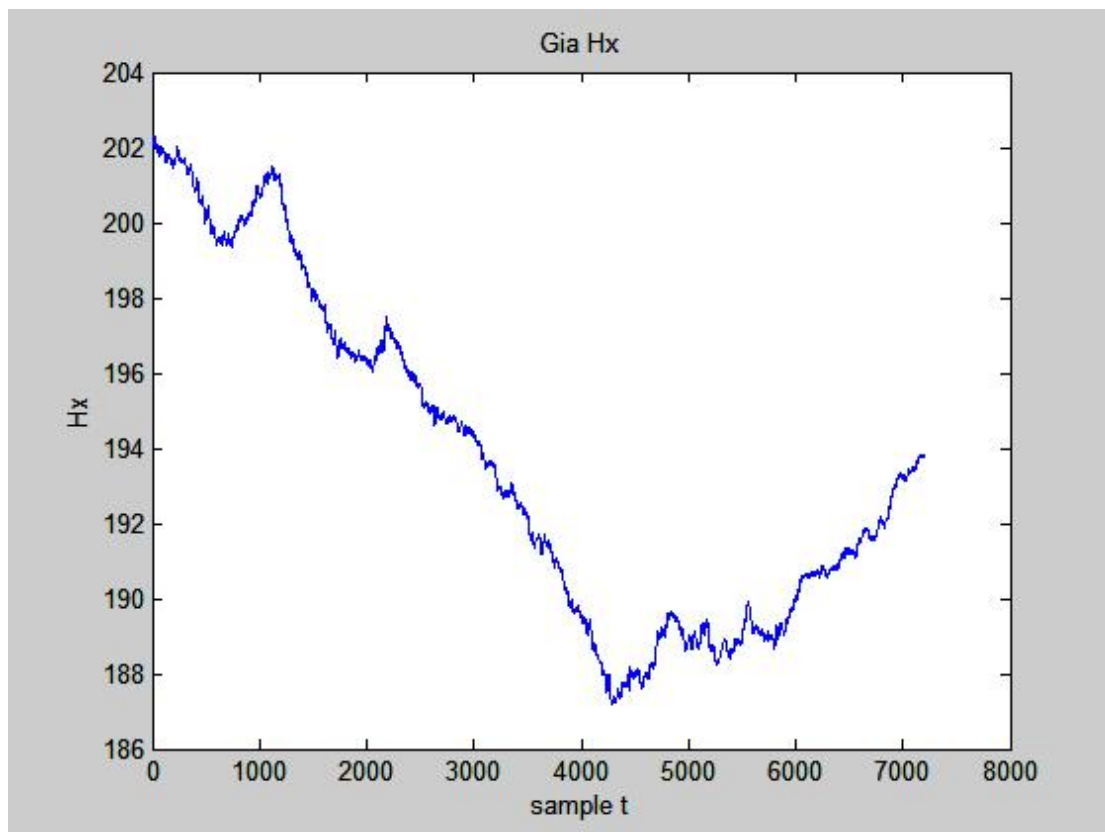
Σε αυτό το πείραμα βλέπουμε ένα μεγάλο Spike το οποίο μας προϊδεάζει για πιθανή σεισμική δόνηση.

Πείραμα 4^ο

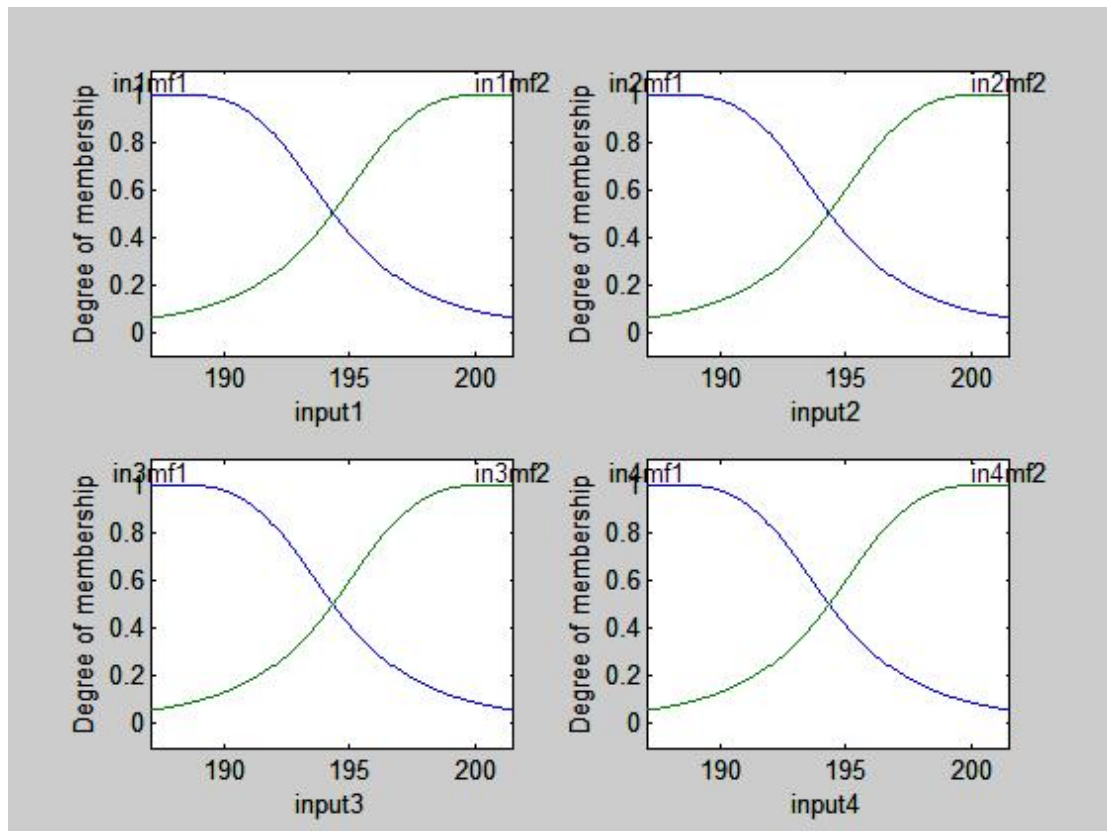
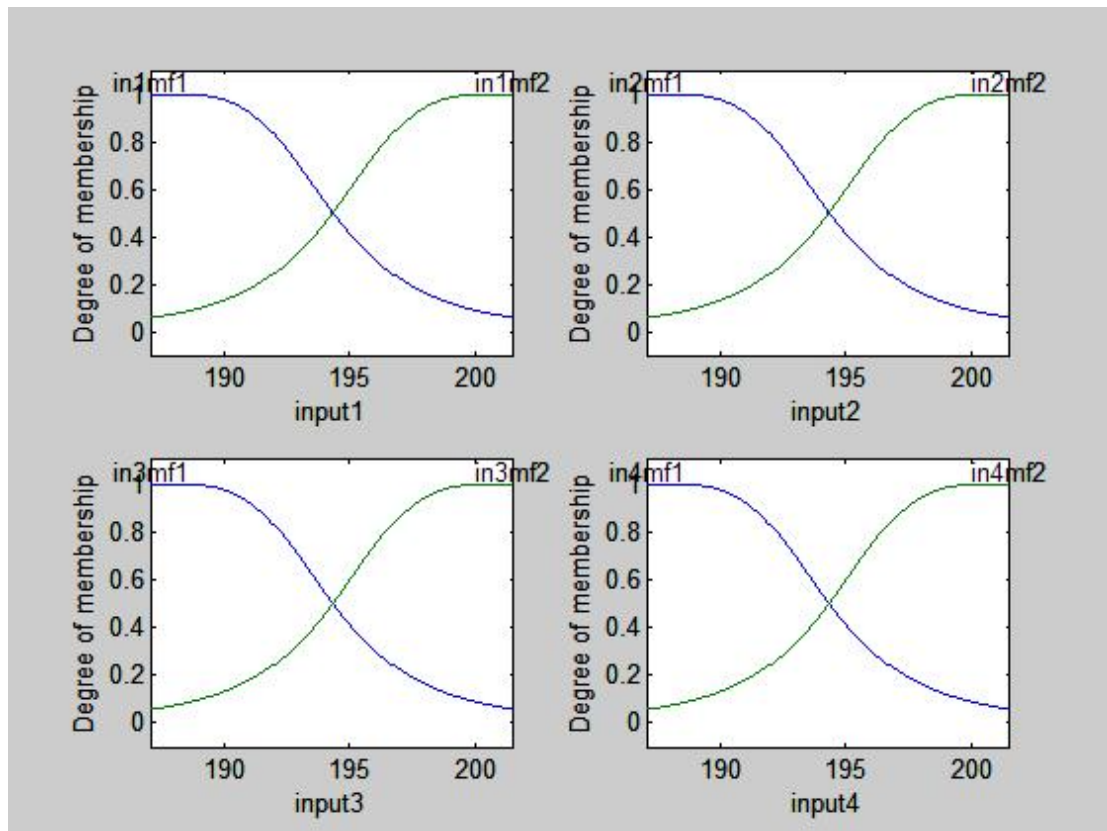
Δεδομένα	data211205.dat
Δείγμα	72001 έως 79200
Για t	t-18, t-12, t-6, t, t+1
Όνομα αρχείου	peirA11.m
Όνομα .fis	peirA11test.fis
Για πειραματισμό	testpeirA11.m

Αποτελέσματα μετά την εκπαίδευση :

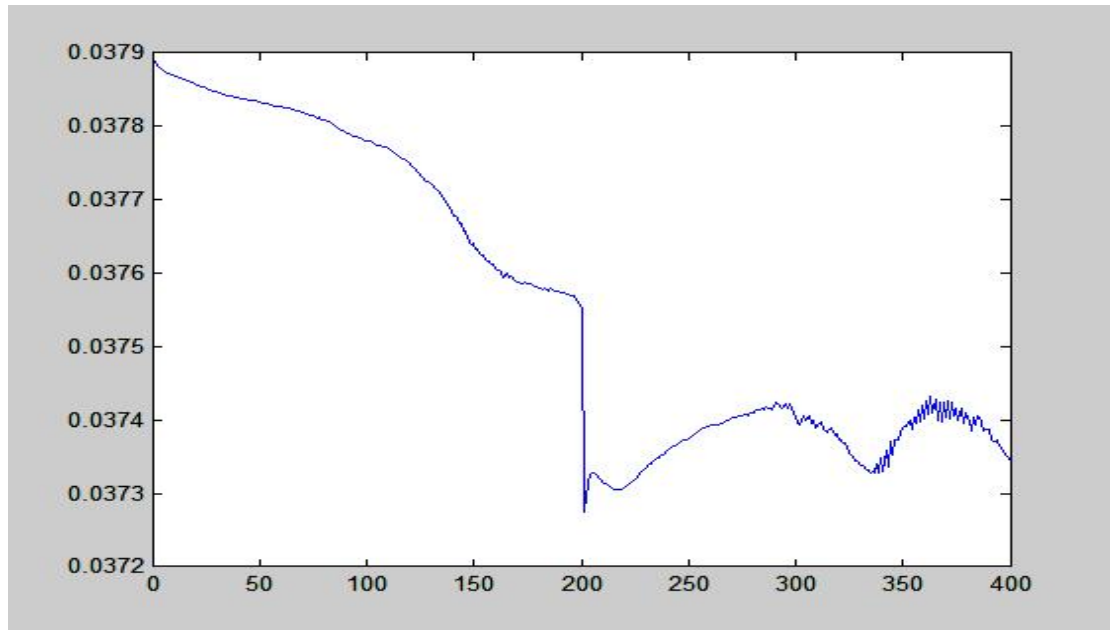
Για δείγμα:



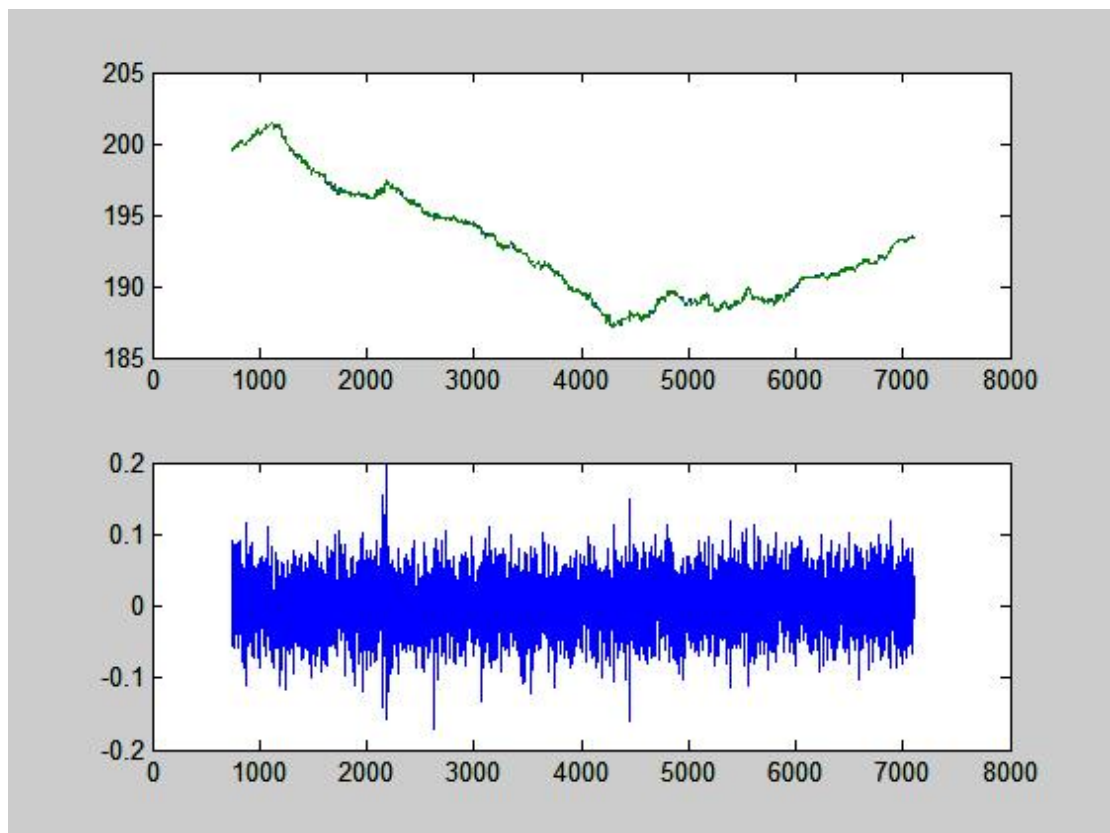
Για εισόδους:



Με σφάλμα:



Τελικά αποτελέσματα:



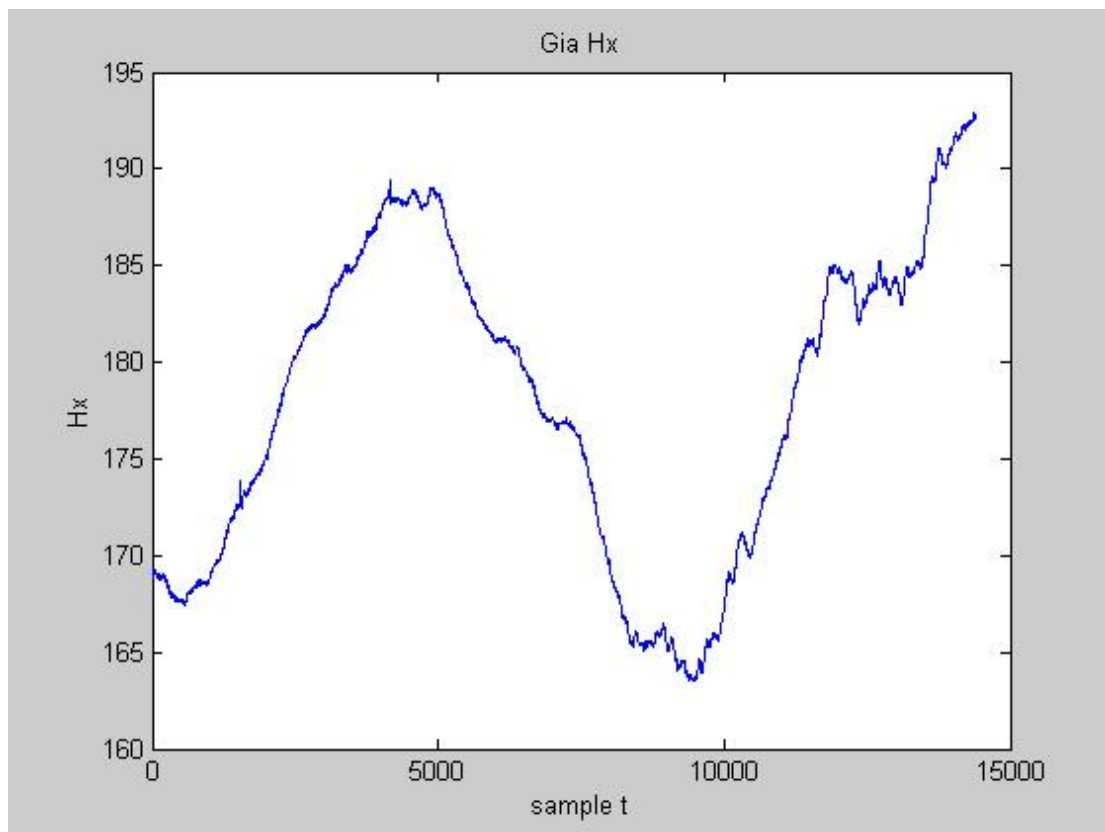
Και σε αυτό το πείραμα εντοπίζουμε πολλές μη κανονικές διαταραχές. Το συγκεκριμένο σύστημα το εκπαιδεύσαμε για 4 ώρες.

Πείραμα 5^ο

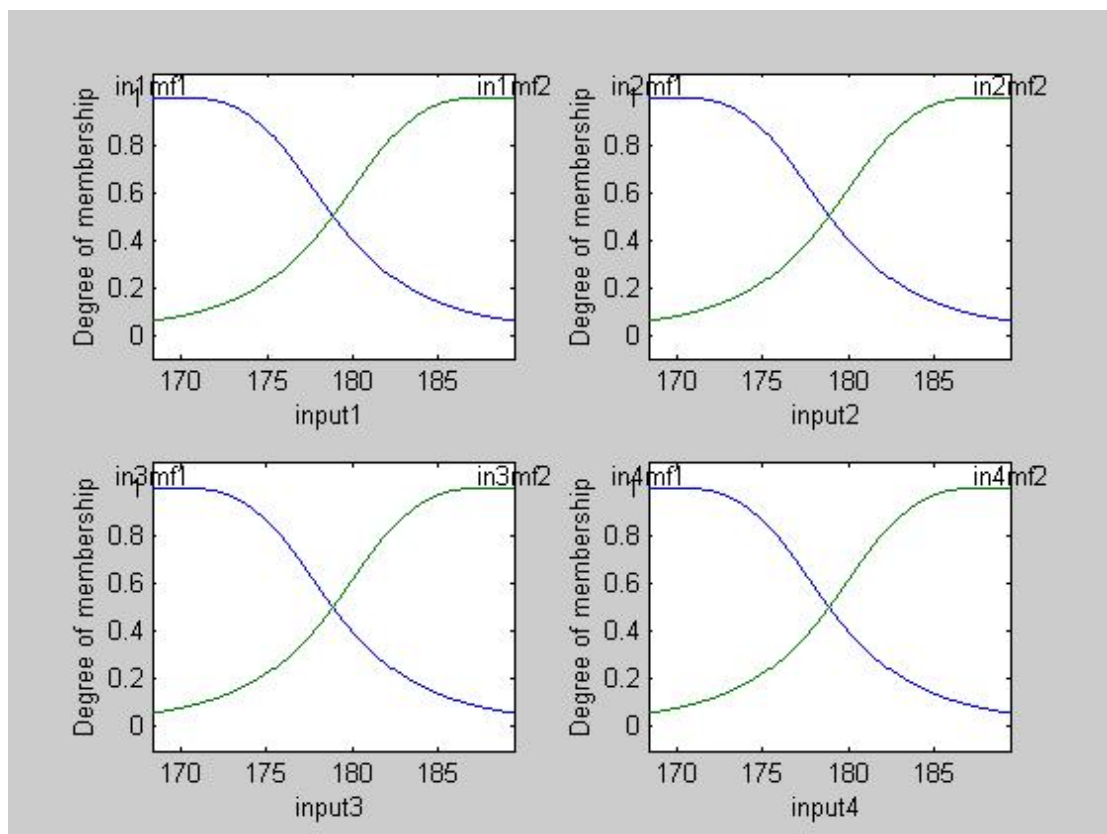
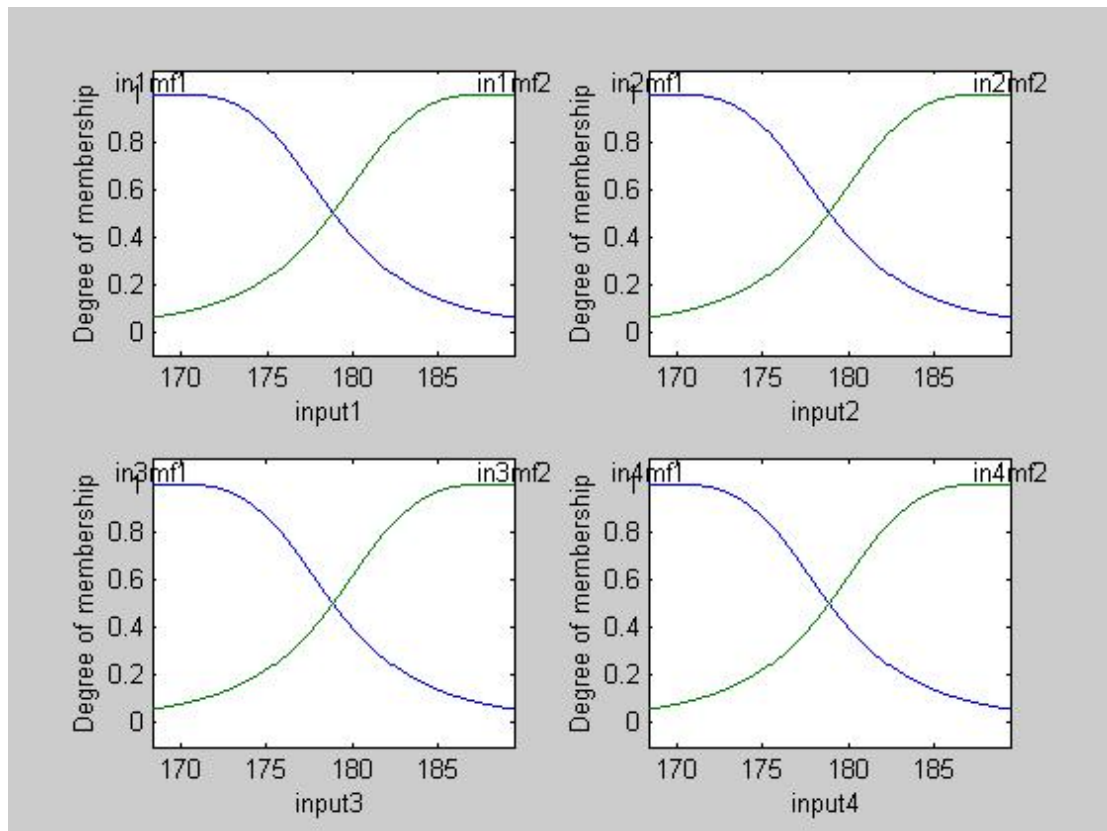
Δεδομένα	data211205.dat
Δείγμα	1700 έως 16100
Για t	t-20, t-13, t-5, t, t+1
Όνομα αρχείου	peirB2d.m
Όνομα .fis	peirB2dtest.fis
Για πειραματισμό	testpeirB2d.m

Αποτελέσματα μετά την εκπαίδευση :

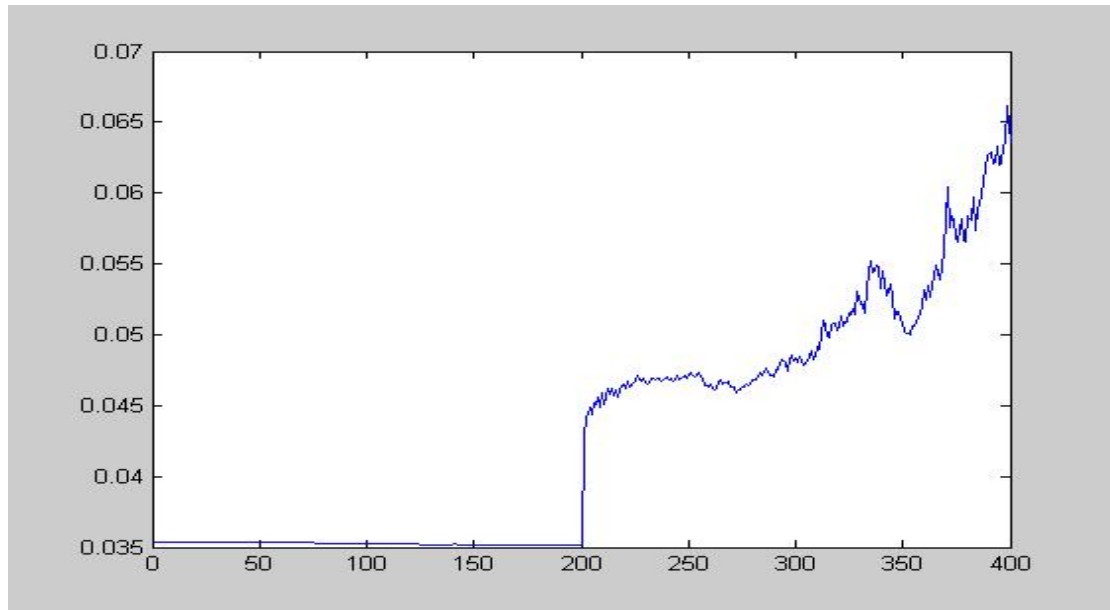
Για δείγμα:



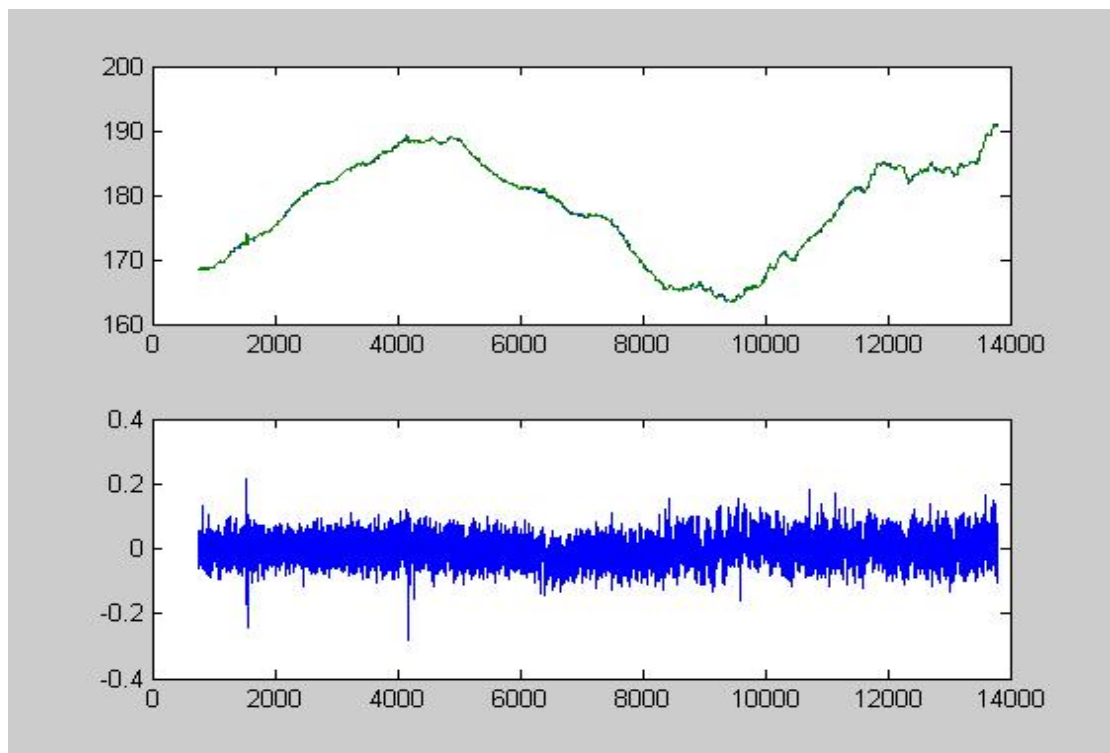
Για εισόδους:



Με σφάλμα:



Τελικά αποτελέσματα:



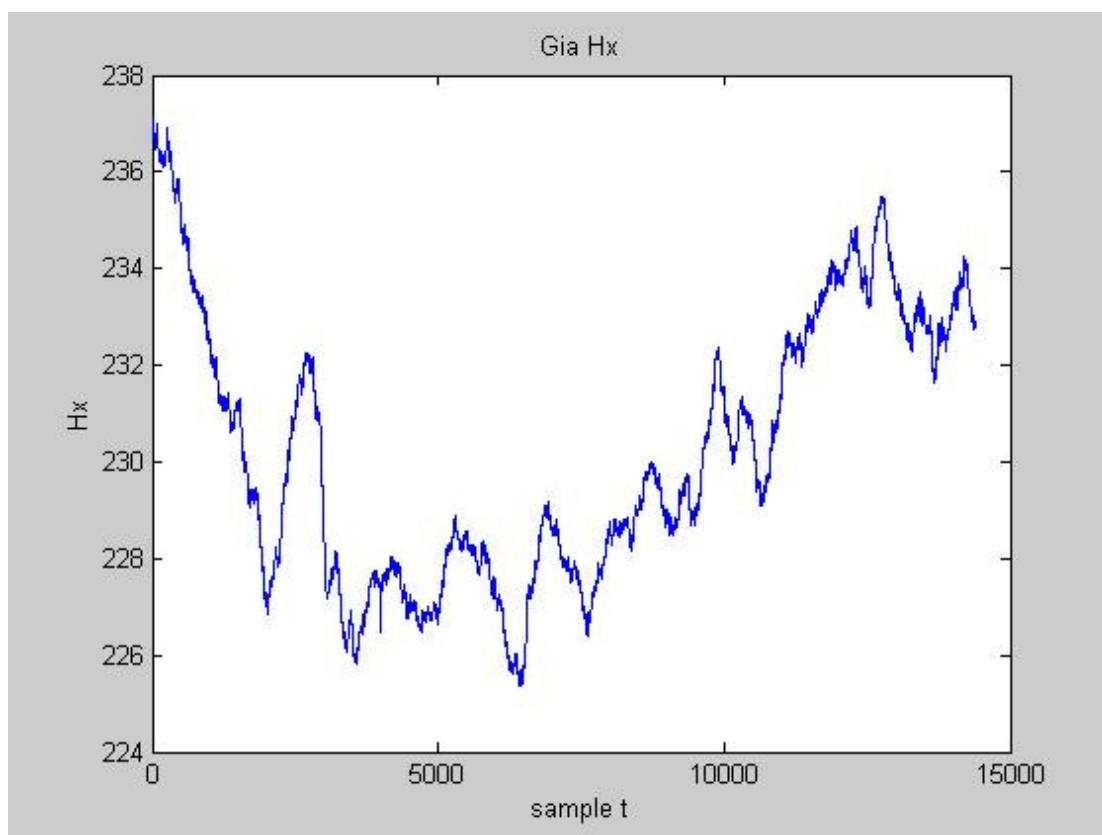
Το συγκεκριμένο πείραμα έγινε βασιζόμενο στο πρώτο μας πείραμα. Αλλάξαμε το δείγμα και εκπαιδεύσαμε για όλη την Μέρα.

Πείραμα 6^ο

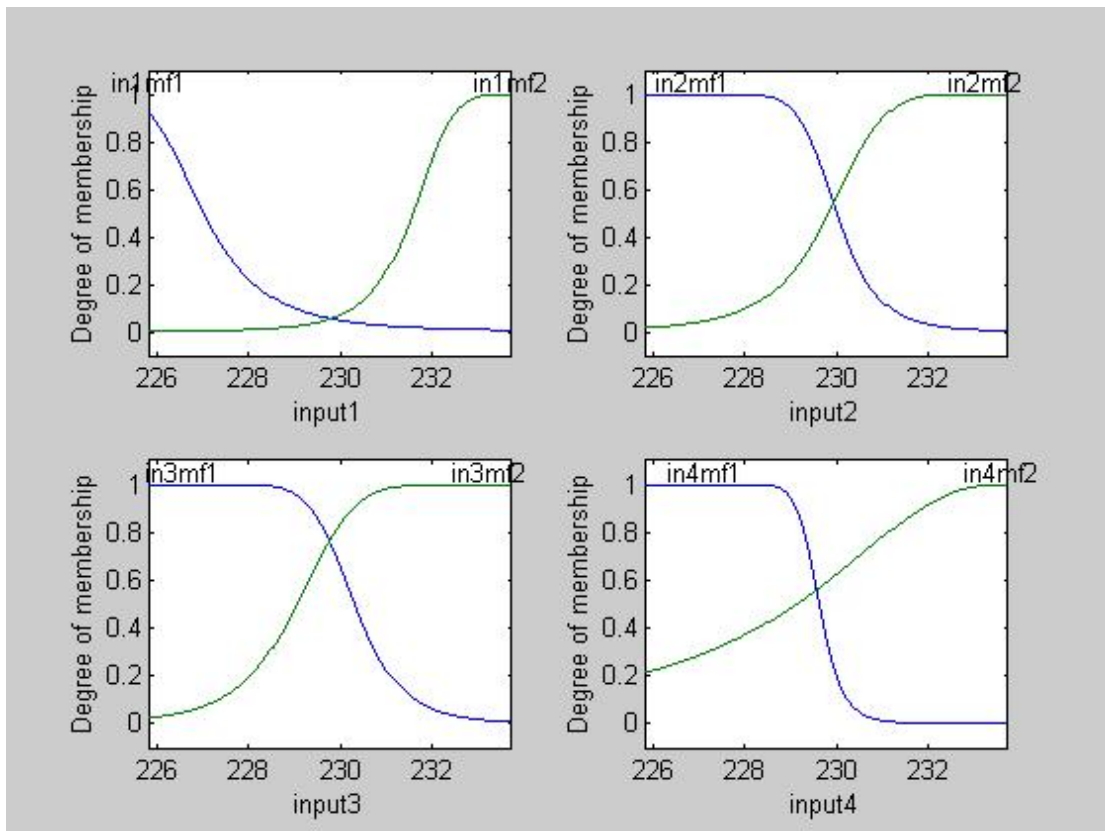
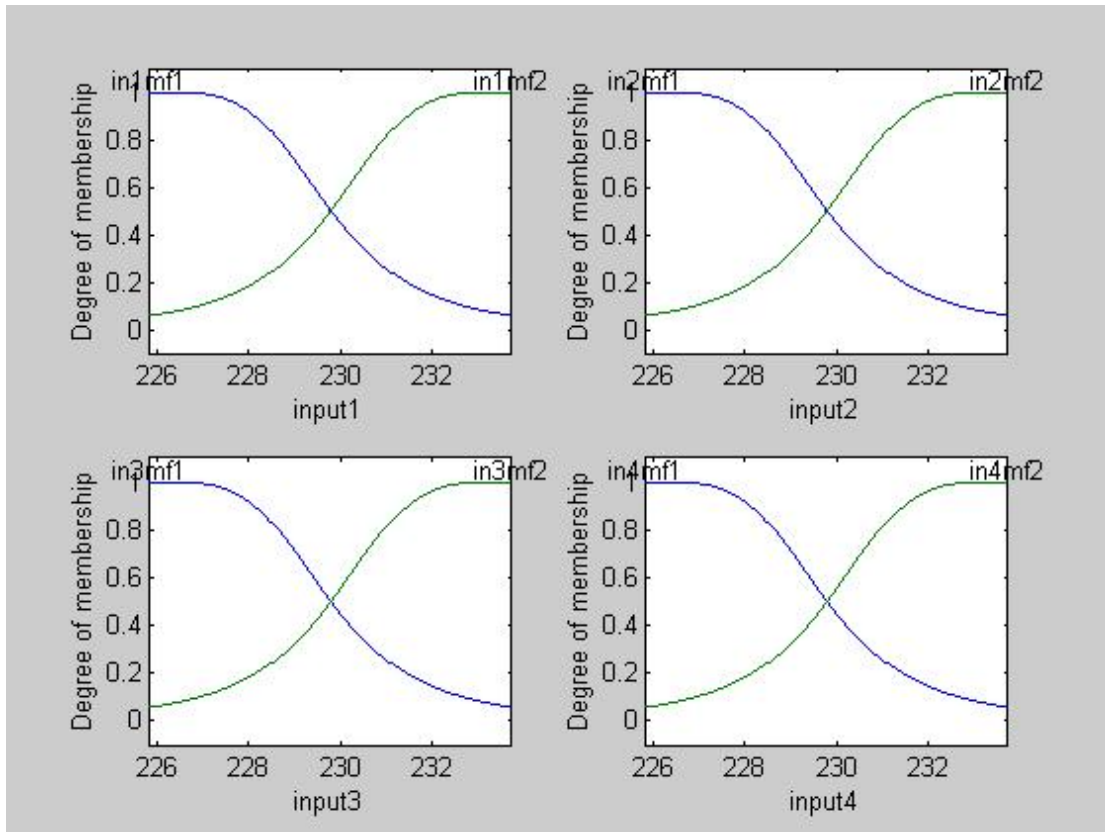
Δεδομένα	data211205.dat
Δείγμα	43200 έως 57600
Για t	t-18, t-12, t-6, t, t+1
Όνομα αρχείου	peirA7a.m
Όνομα .fis	peirA7atest.fis
Για πειραματισμό	testpeirA7a.m

Αποτελέσματα μετά την εκπαίδευση :

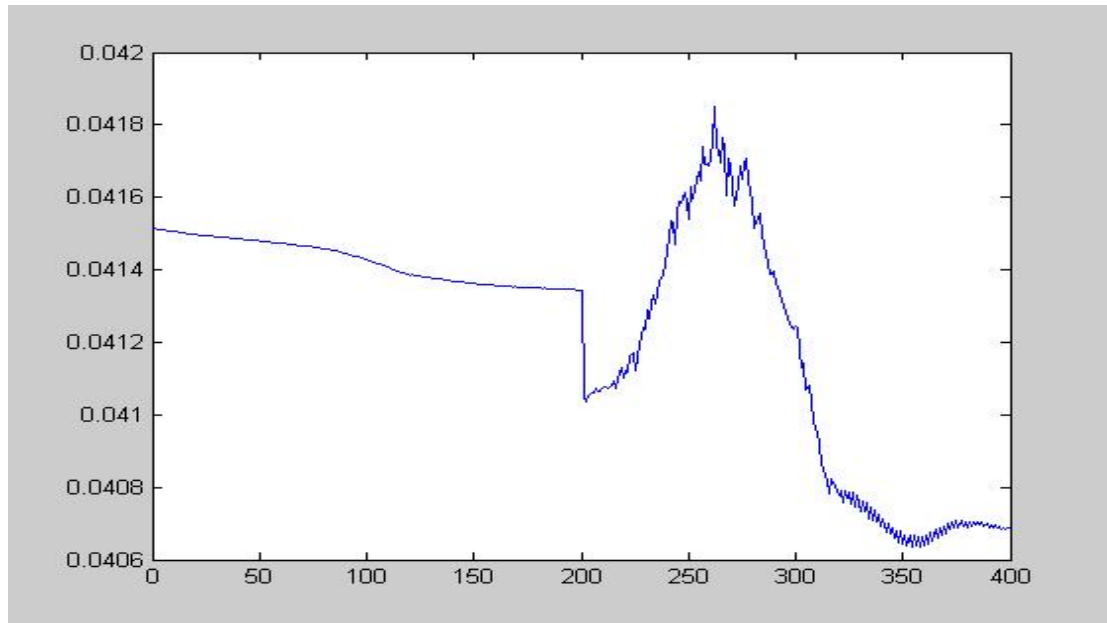
Για δείγμα:



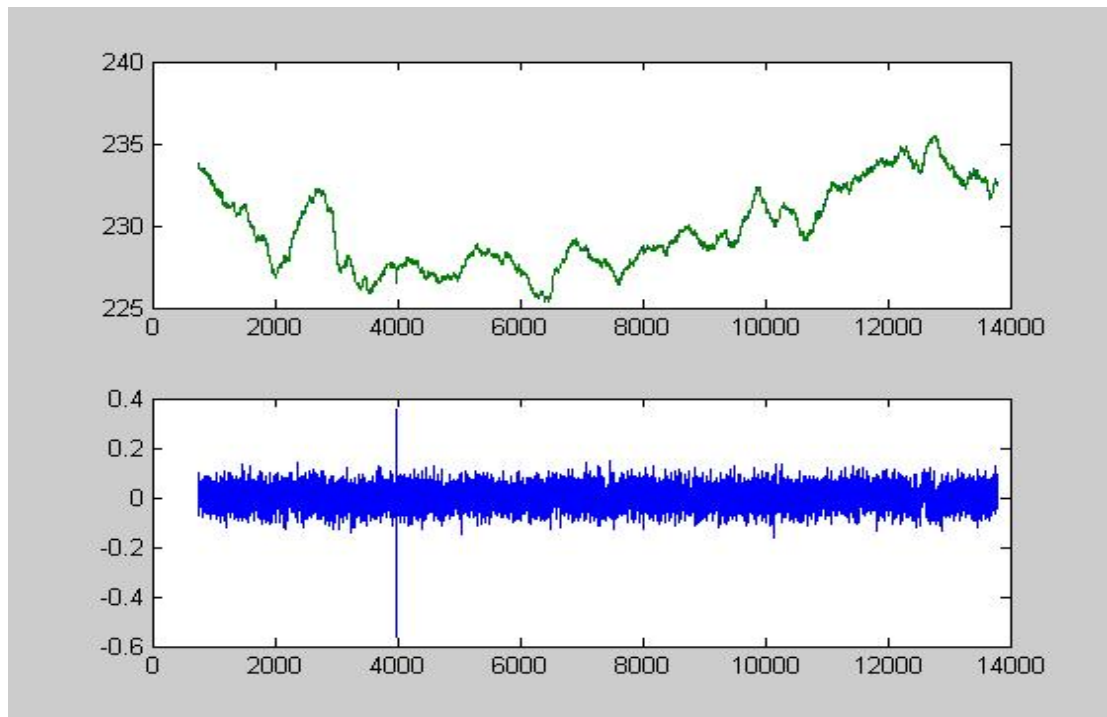
Για εισόδους:



Με σφάλμα:



Τελικά αποτελέσματα:



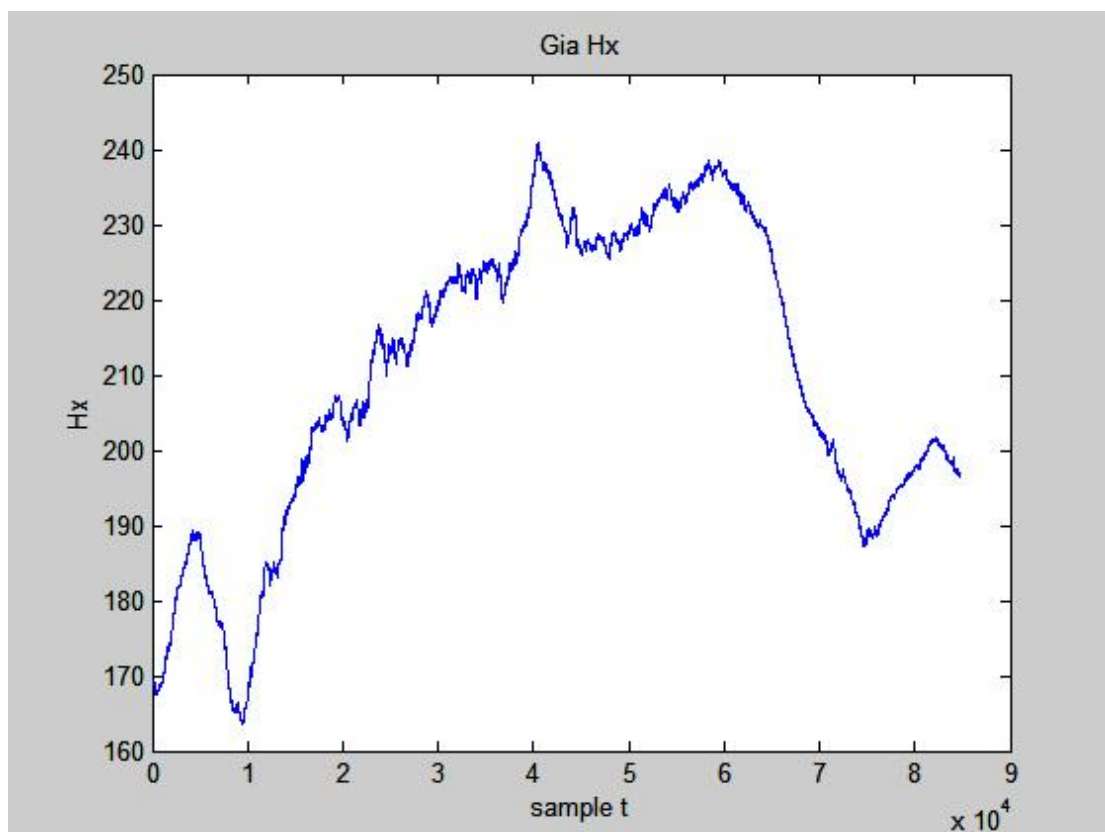
Το συγκεκριμένο πείραμα βασίστηκε στο Πείραμα 3. Το εκπαιδεύσαμε ξανά για μεγαλύτερο δείγμα και το αποτέλεσμα ήταν το επιθυμητό

Πείραμα 7^ο

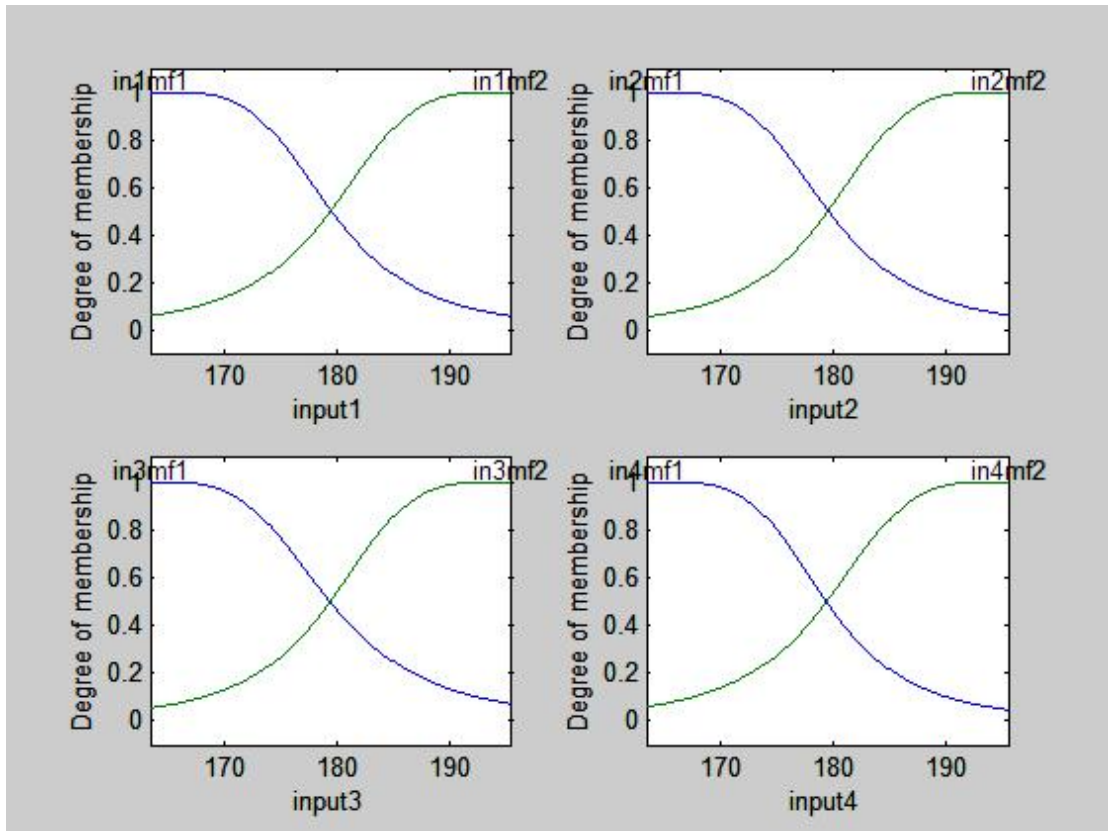
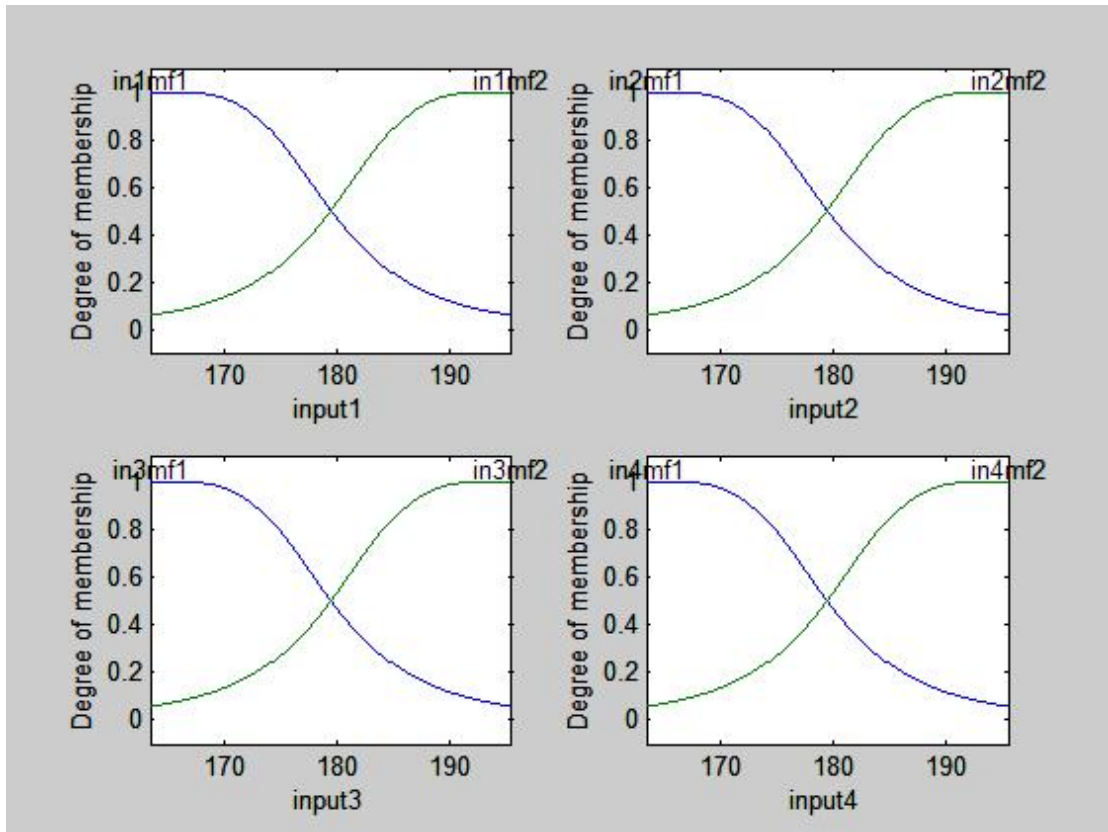
Δεδομένα	data211205.dat
Δείγμα	1701 έως 86400
Για t	t-18, t-12, t-6, t, t+1
Όνομα αρχείου	peirb2dg.m
Όνομα .fis	peirA12test.fis
Για πειραματισμό	testpeirA12.m

Αποτελέσματα μετά την εκπαίδευση :

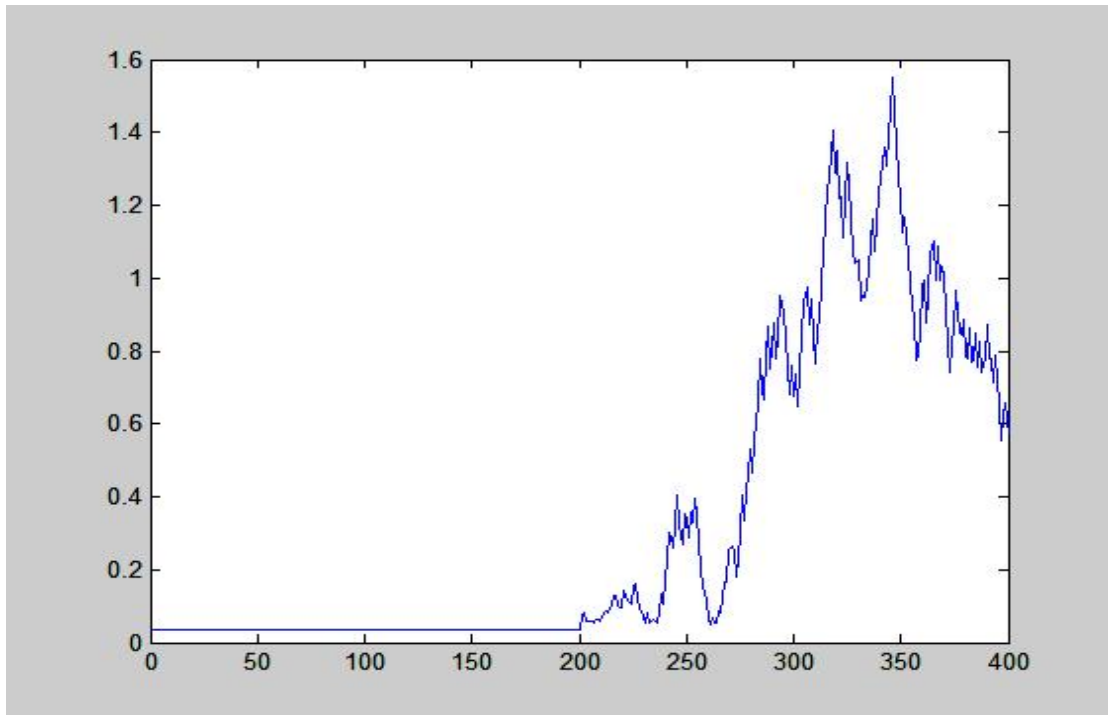
Για δείγμα:



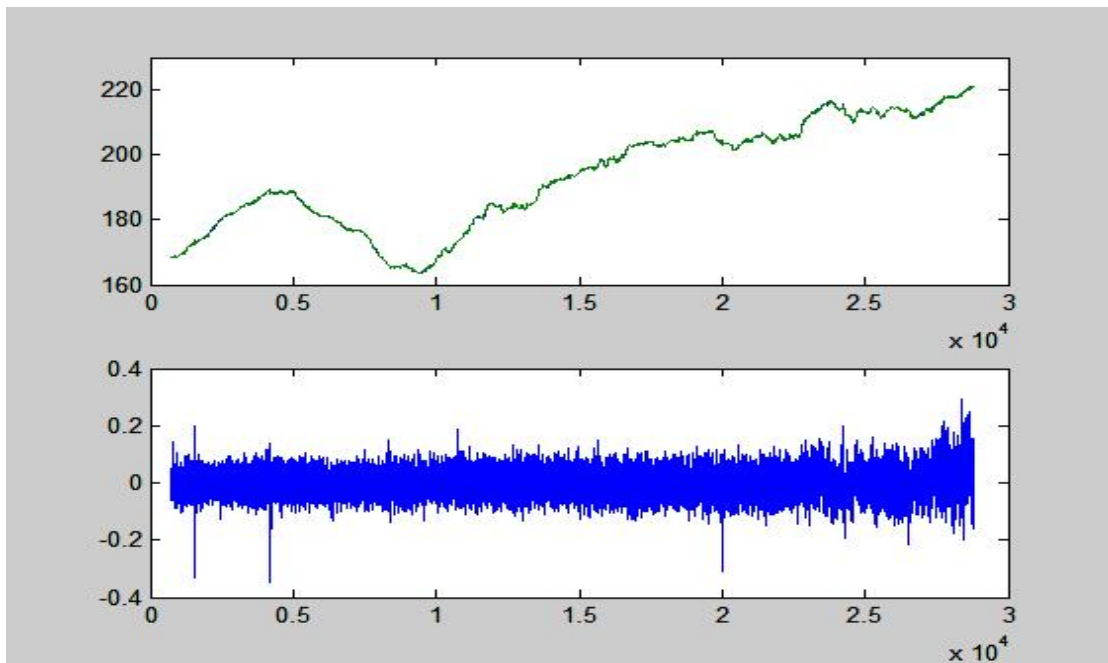
Για εισόδους:



Με σφάλμα:



Τελικά αποτελέσματα:



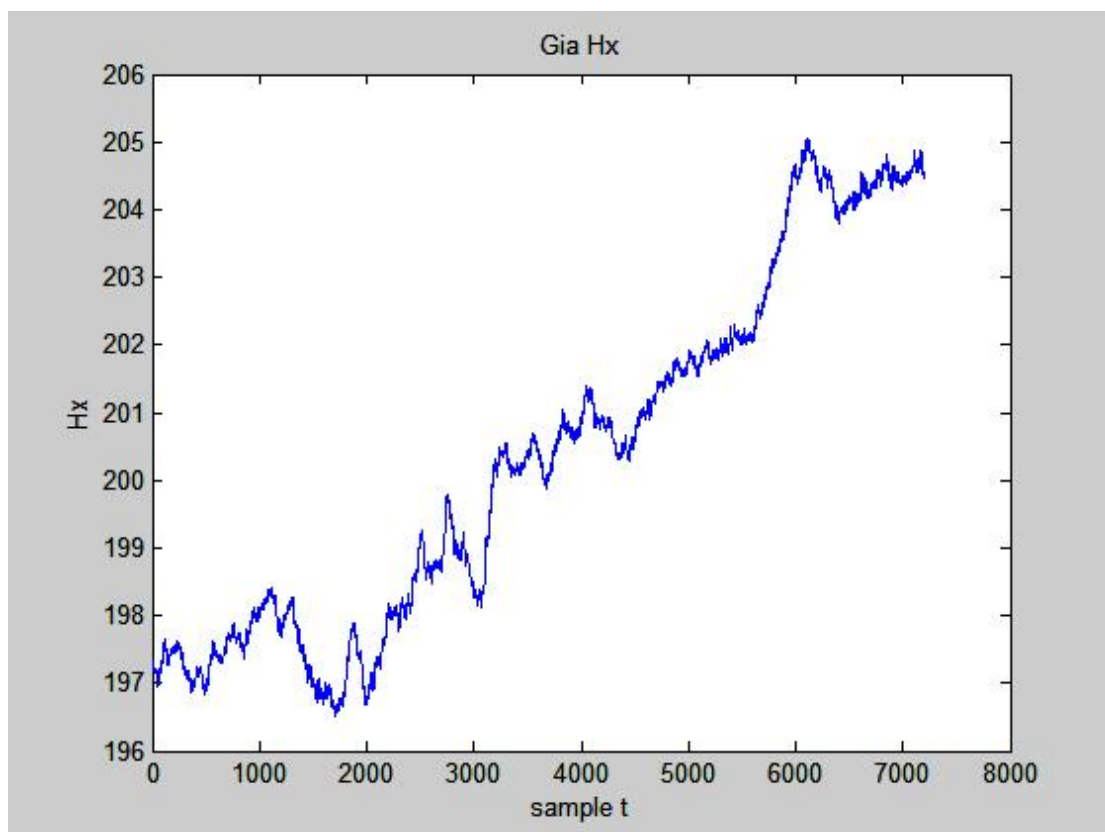
Το συγκεκριμένο πείραμα έγινε βάση του πειράματος 5. Αυξήσαμε το δείγμα για καλύτερα αποτελέσματα.

Πείραμα 8^ο

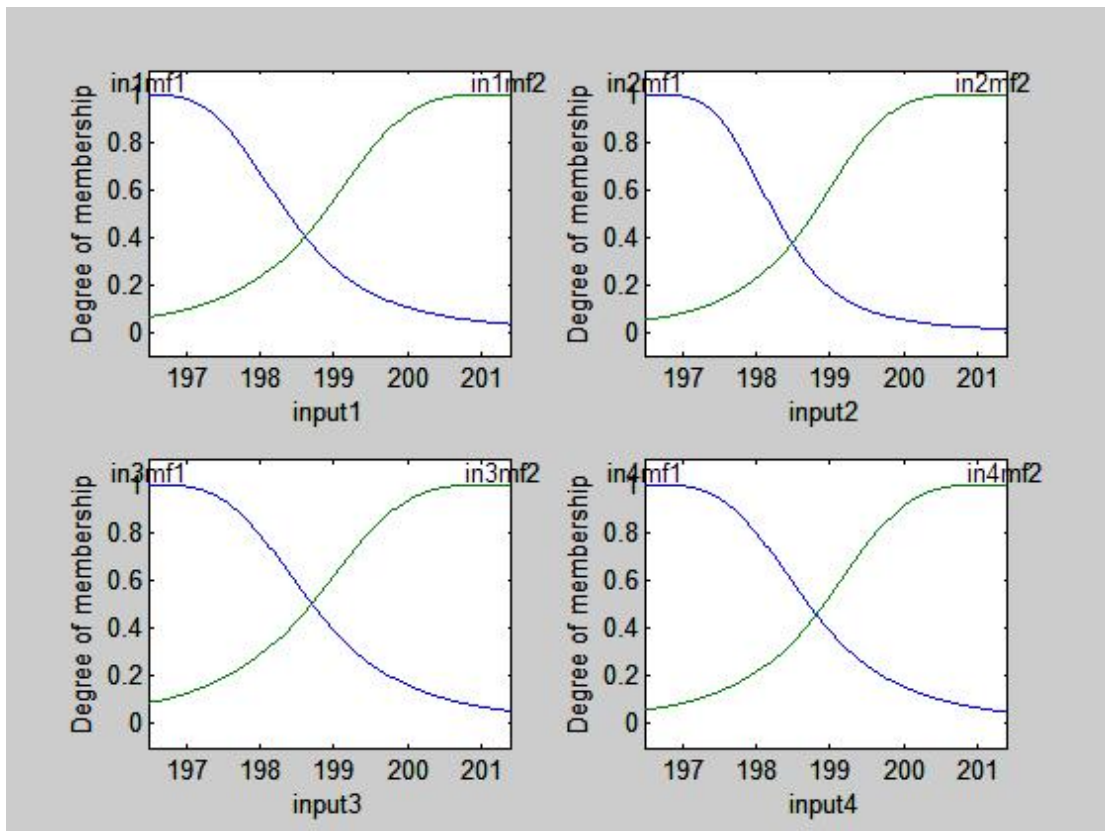
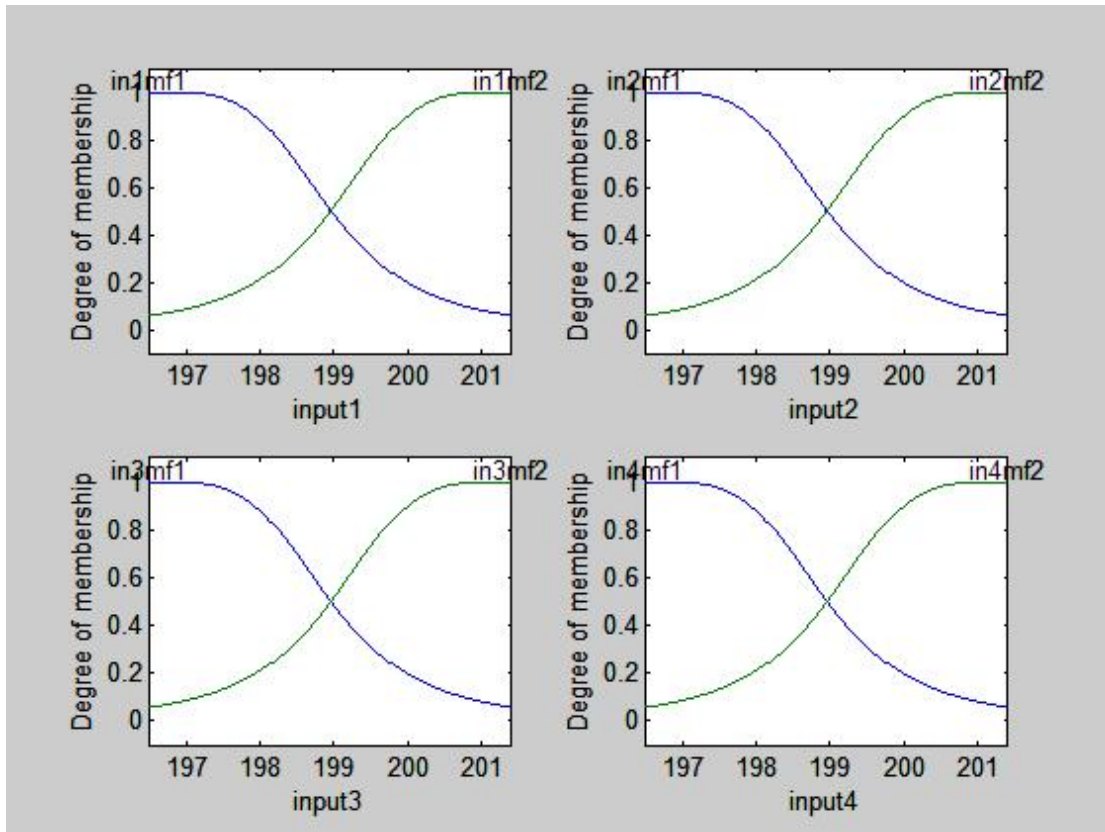
Δεδομένα	data221205.dat
Δείγμα	7201 έως 14400
Για t	t-20, t-13, t-5, t, t+1
Όνομα αρχείου	peirC2.m
Όνομα .fis	peirC2test.fis
Για πειραματισμό	testpeirC2.m

Αποτελέσματα μετά την εκπαίδευση :

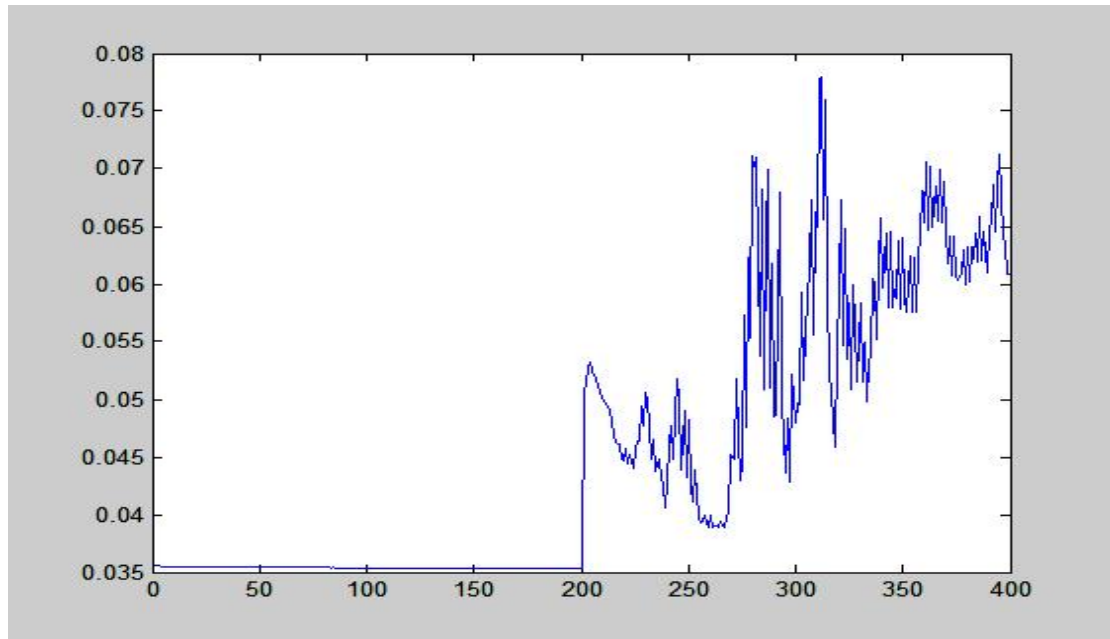
Για Δείγμα:



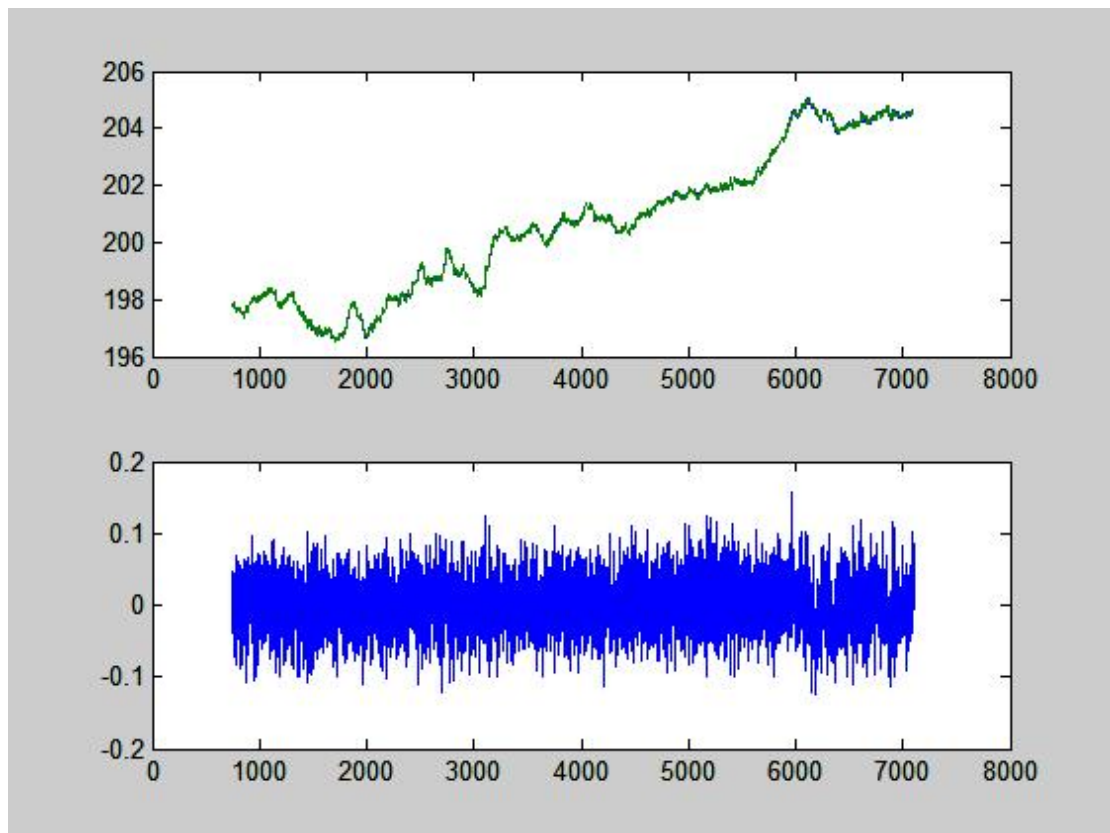
Για εισόδους:



Με σφάλμα:



Τελικά αποτελέσματα:

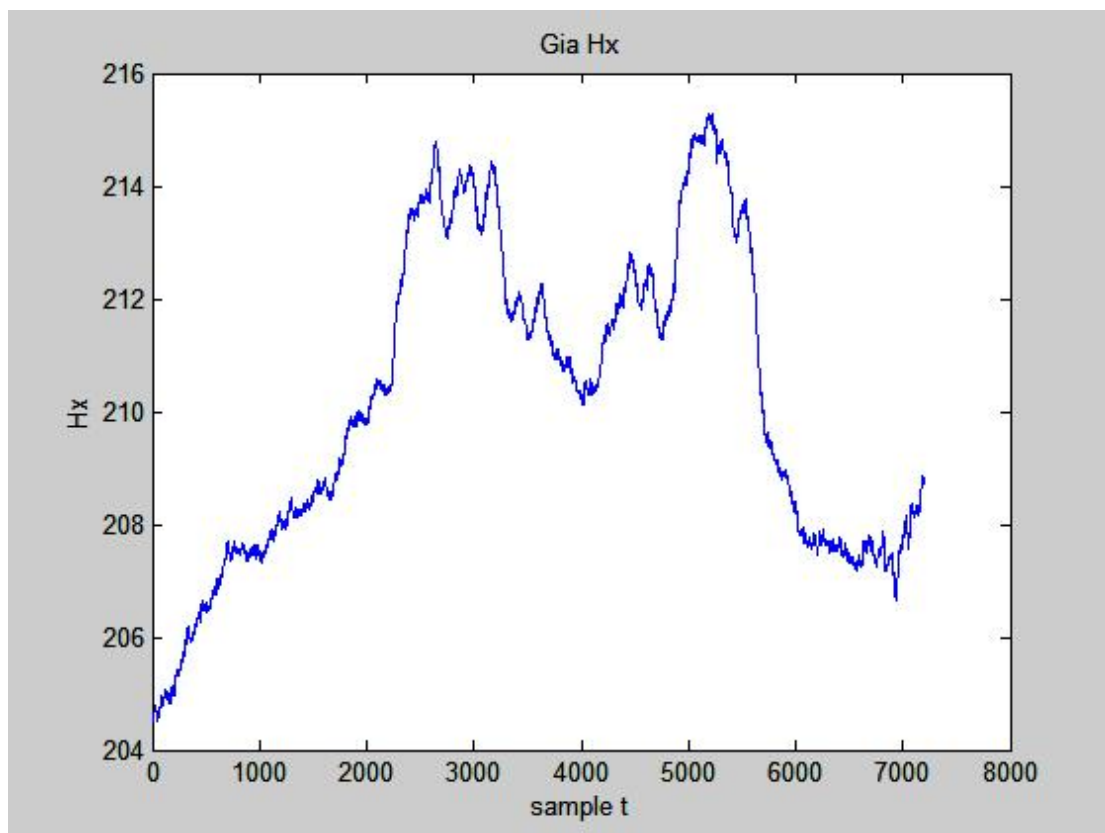


Πείραμα 9^ο

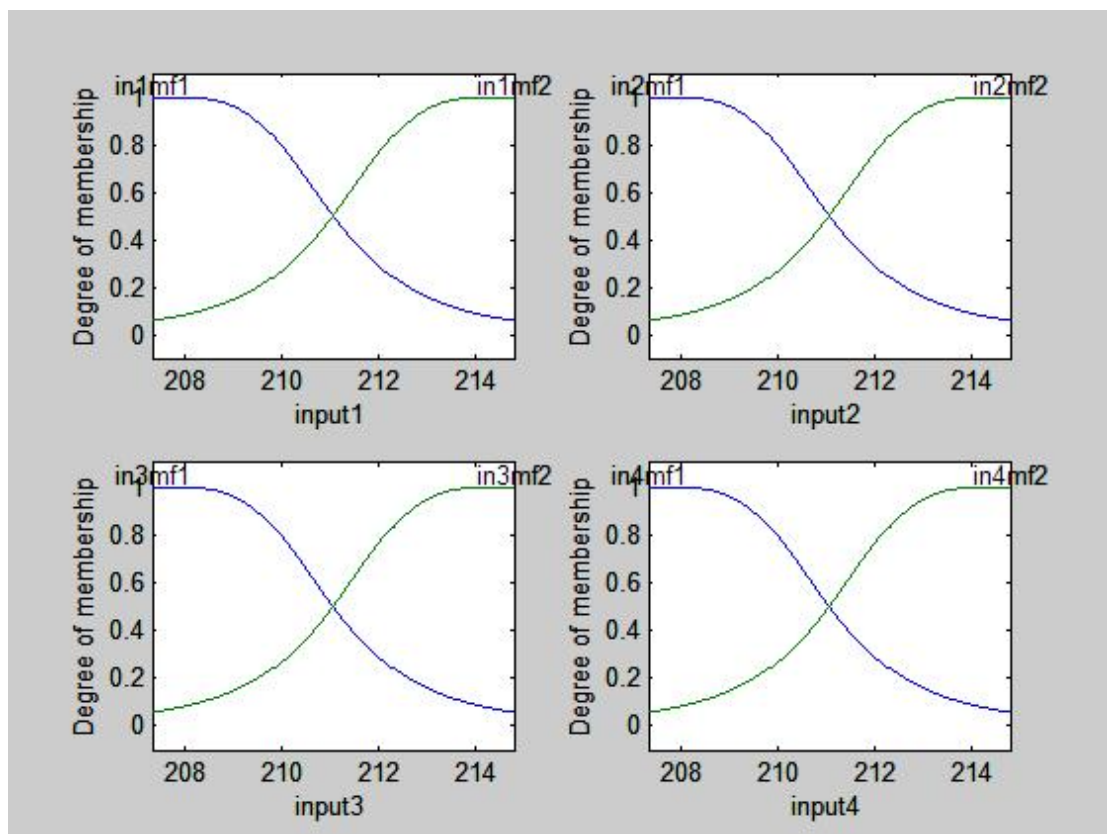
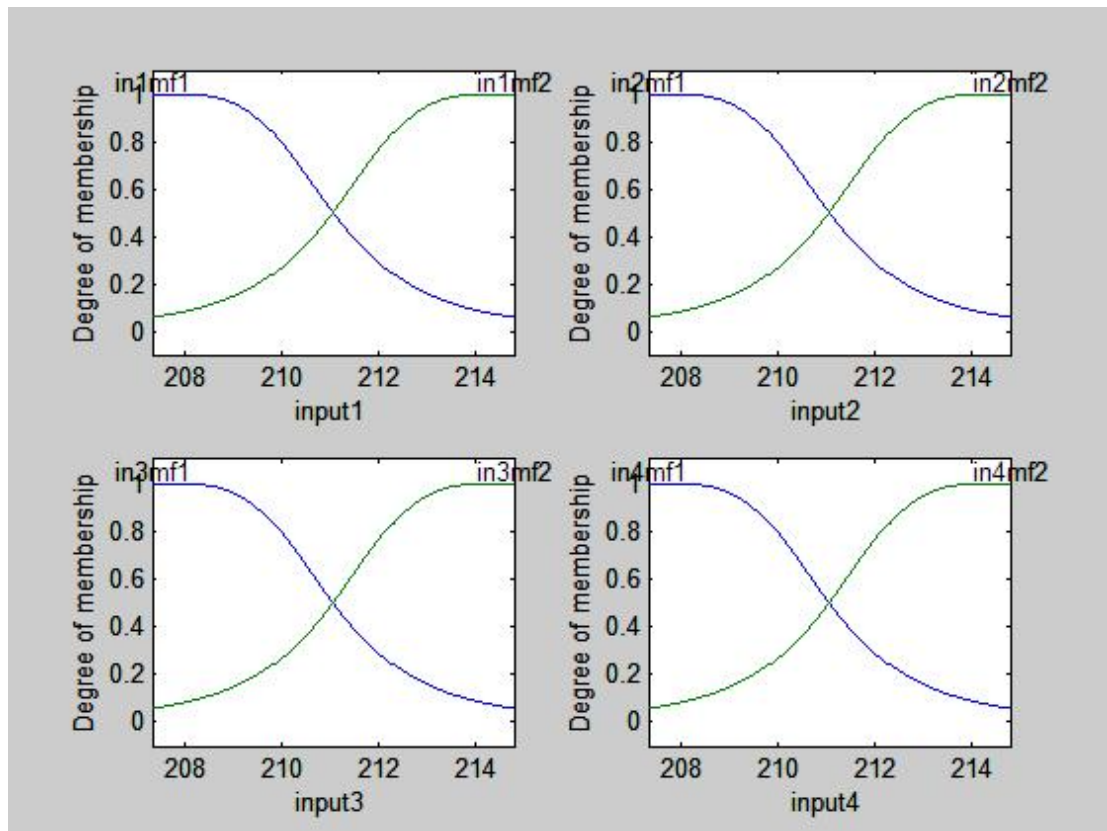
Δεδομένα	data221205.dat
Δείγμα	14401 έως 21600
Για t	t-20, t-13, t-5, t, t+1
Όνομα αρχείου	peirC3.m
Όνομα .fis	peirC3test.fis
Για πειραματισμό	testpeirC3.m

Αποτελέσματα μετά την εκπαίδευση :

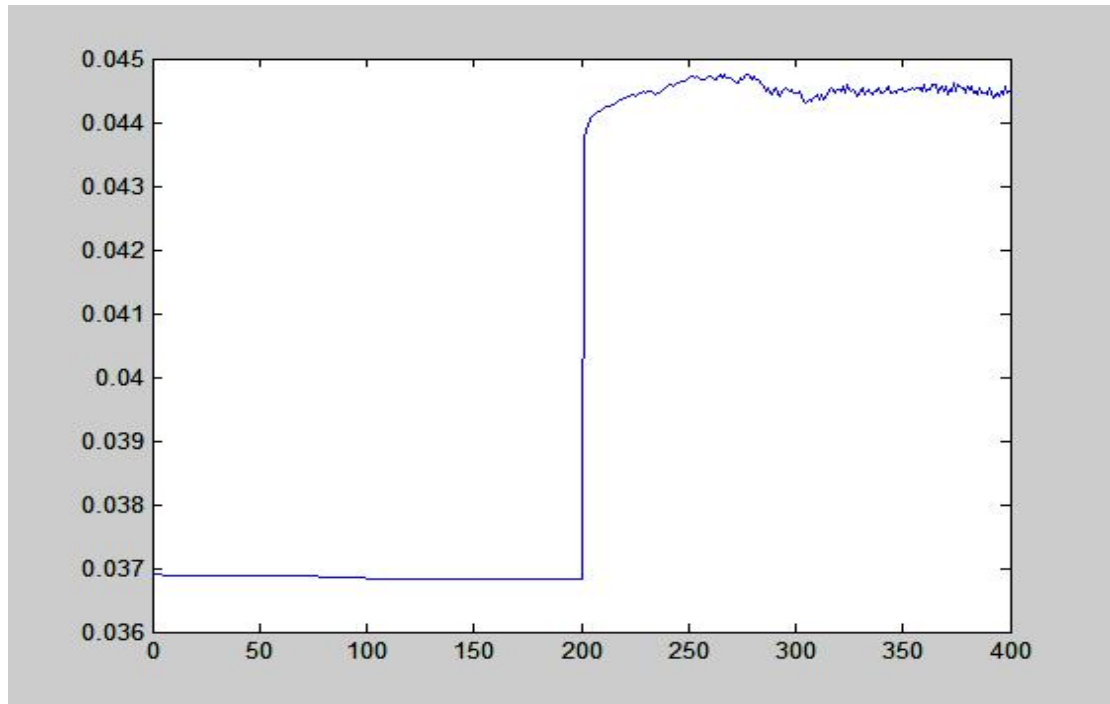
Για Δείγμα:



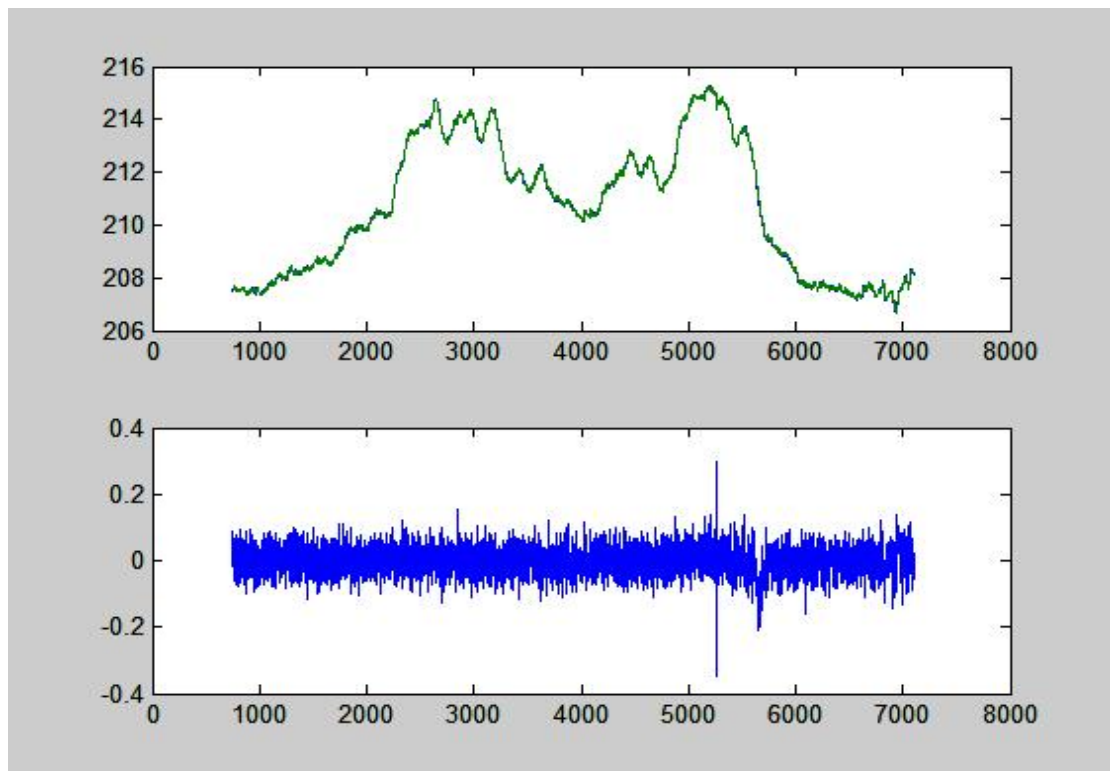
Για εισόδους:



Με σφάλμα:



Τελικά αποτελέσματα:

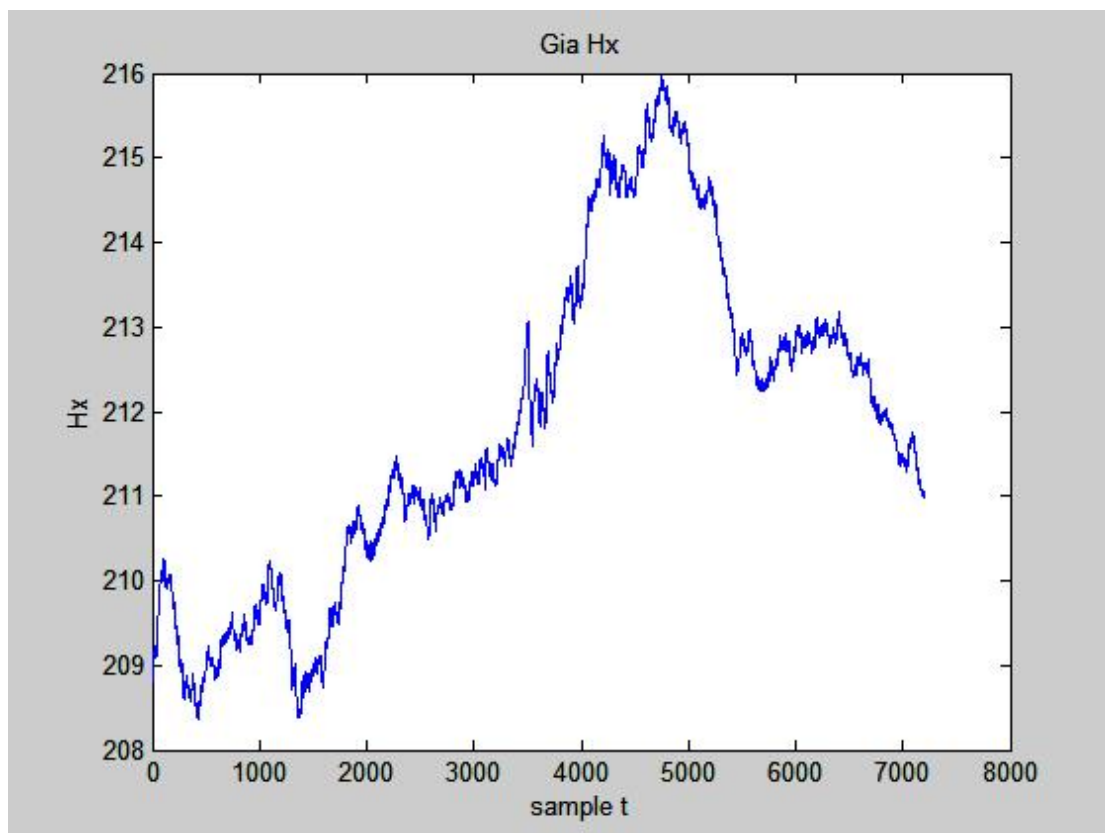


Πείραμα 10°

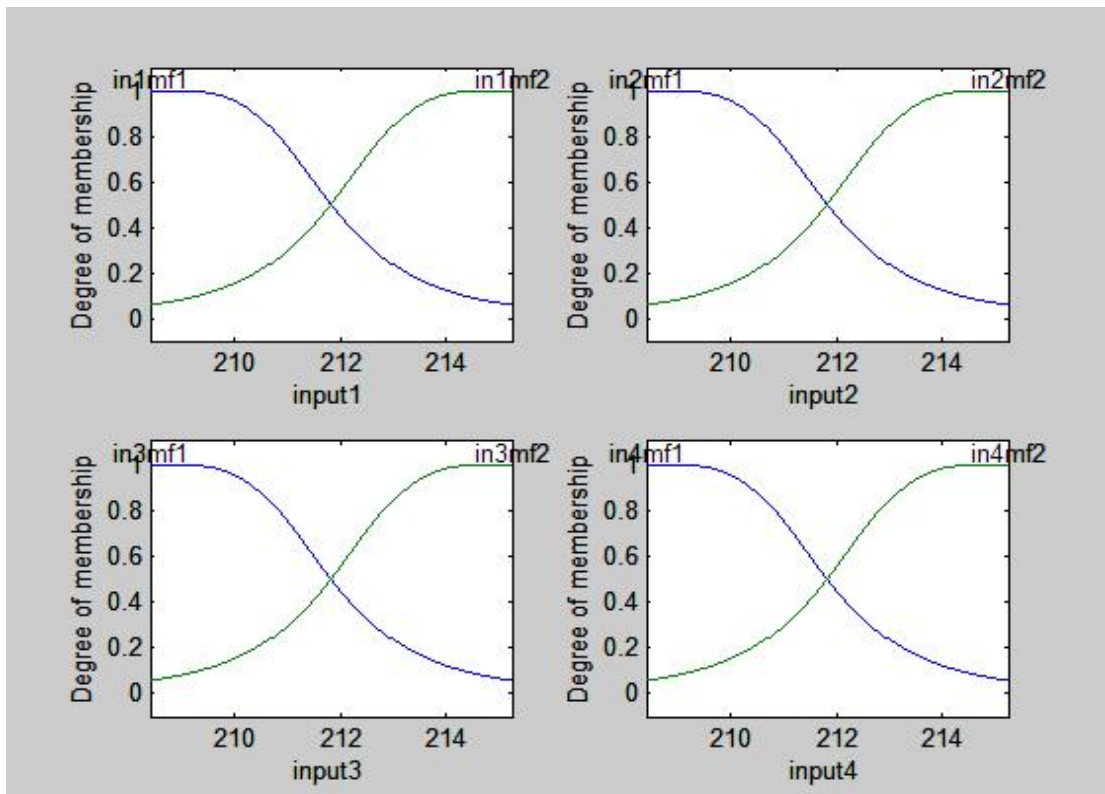
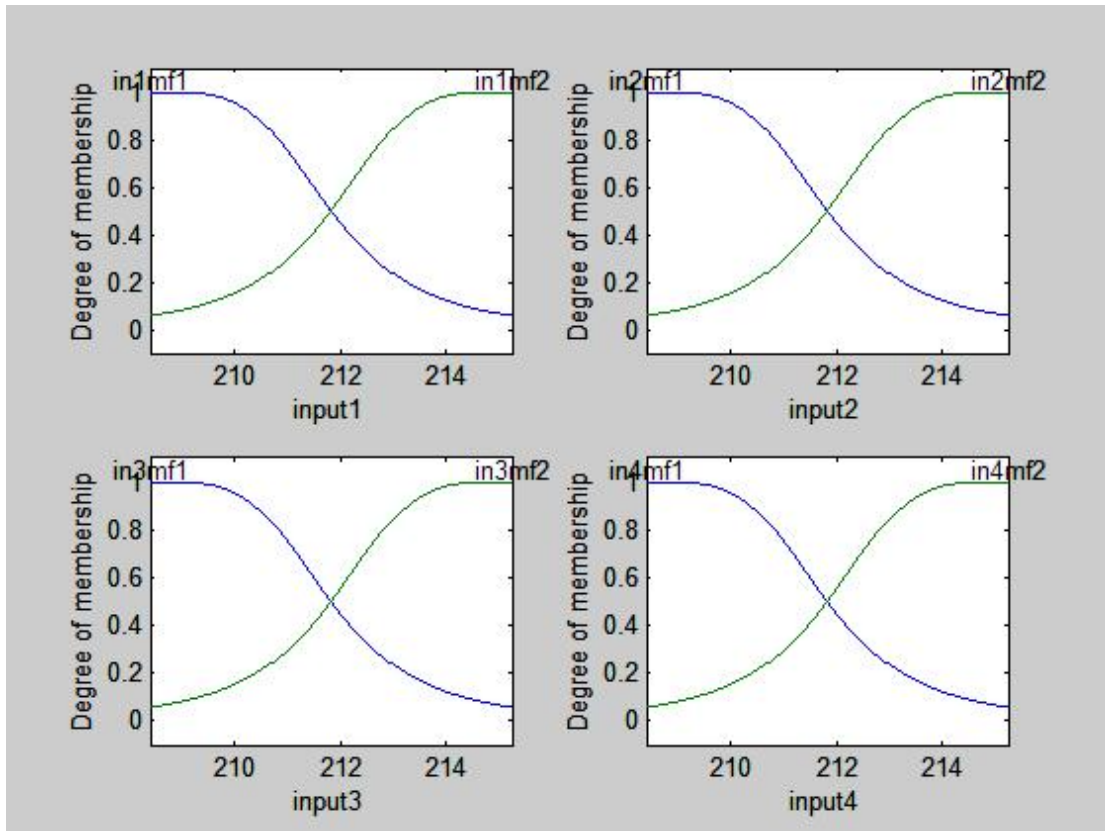
Δεδομένα	data221205.dat
Δείγμα	21601 έως 28800
Για t	t-20, t-13, t-5, t, t+1
Όνομα αρχείου	peirC4.m
Όνομα .fis	peirC4test.fis
Για πειραματισμό	testpeirC4.m

Αποτελέσματα μετά την εκπαίδευση :

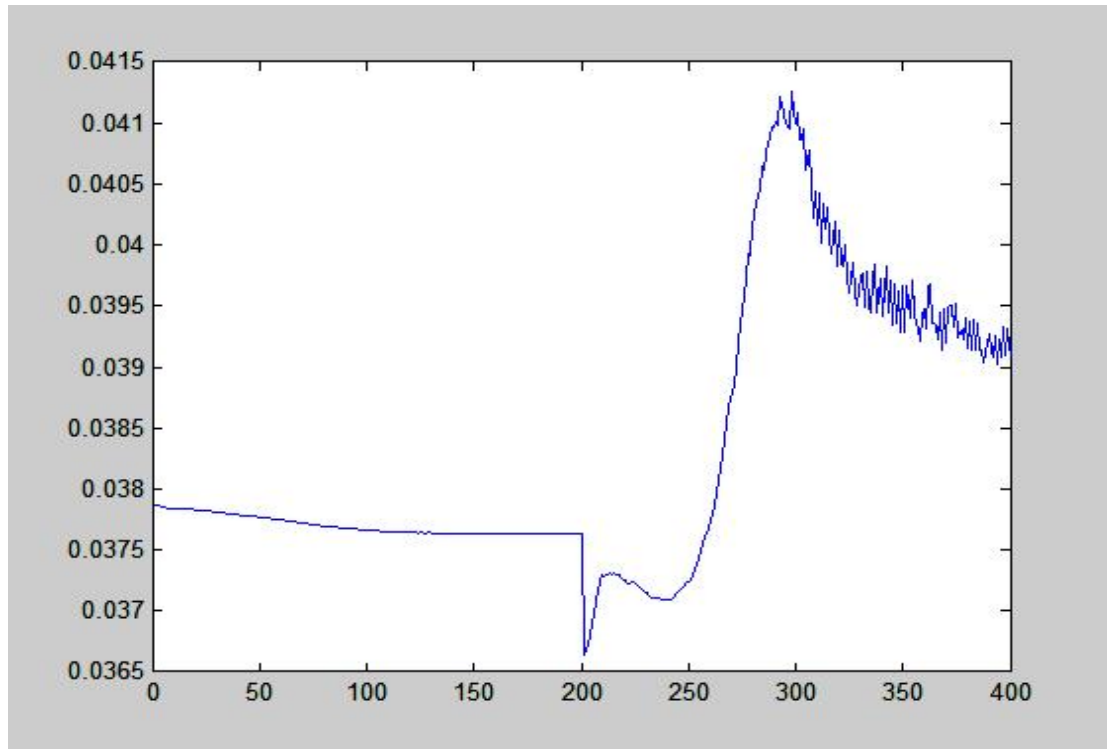
Για δείγμα:



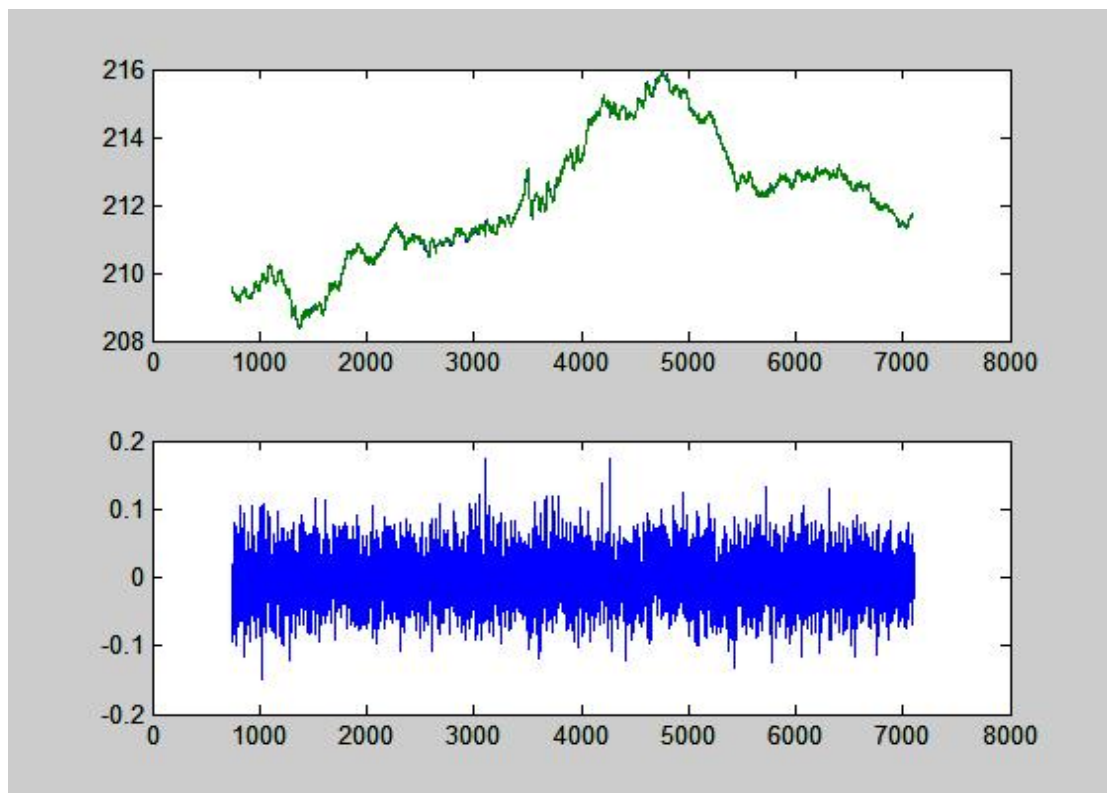
Για εισόδους:



Με σφάλμα:



Τελικά αποτελέσματα:



5.2 μ μ

Με τα παραπάνω πειράματα είδαμε πως μπορούμε να εκπαιδεύσουμε συστήματα νευρο-ασαφή και πως αυτά μπορούμε να τα χρησιμοποιήσουμε για την πρόβλεψη σεισμικών δονήσεων με πολύ καλά αποτελέσματα βάση των μεταβολών του Ηx.

Παρατηρήθηκε το ότι όσο περισσότερο εκπαιδεύσαμε τα συστήματα μας τόσο μικρότερο σφάλμα είχαμε. Επίσης καλύτερα αποτελέσματα είχαμε σε μεγαλύτερο εύρος δεδομένων.

Η εκπαίδευση του συστήματος ANFIS μπορεί να γίνει εύκολα, καθώς μπορούμε να αντιληφθούμε άμεσα τυχόν προβλήματα μέσα από τους κανόνες και τα γραφήματα που εξάγουμε. Επίσης έχει μεγάλη ανάγκη από επεξεργαστική ισχύ και όλη αυτή η πολυπλοκότητα δείχνει ότι έχει μεγάλες δυνατότητες.

Με αυτά τα συστήματα μπορούμε να προβλέψουμε πολλά μεγέθη όπως οικονομικά μεγέθη. Το βασικότερο είναι ότι χρειαζόμαστε πολλά δεδομένα για να έχουμε αξιόπιστα αποτελέσματα

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] T. Seno and M. Yoshida, Where and why do large shallow intraslab earthquakes occur?, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 141, 3, 189-206, 2004

- [2] A. Kiratzi and E. Louvari, Focal mechanisms of shallow earthquakes in the Aegean sea and the surrounding lands determined by waveform modelling: a new database, *Journal of Geodynamics*, 36, 251-274, 2003

- [3] V. Trifonov, Active faults in Eurasia: general remarks, *Tectonophysics*, 2003 (article in press)

- [4] R. Teisseyre, (ed.), *Theory of Earthquake premonitory and fracture processes*, Polish Scientific Publishers, 1995

- [5] R. Teisseyre and H. Nagahama, "Dislocational models of electric field generation in a seismic source zone", in Hayakawa, M. (ed.), *Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes*, Terra Scientific Publishing, Tokyo, 271-285, 1999

- [6] F. Vallianatos and A. Tzanis, Electric current generation associated with the deformation rate of a solid: Preseismic and coseismic signals, *Phys. Chem. Earth*, 23, 933-938, 1998

- [7] A. Tzanis, F. Vallianatos and S. Gruszow, Identification and discrimination of transient electrical earthquake precursors: Fact, fiction and some possibilities, *Phys. Earth. Planet. Int.*, 121, 223-248, 2000
- [8] G. Colangelo, V. Lapenna, F. Vallianatos and C. Nomikos, "Investigating the time dynamics of geoelectrical signals measured in two seismotectonic environments of Mediterranean region: the Southern Apennine chain (S. Italy) and the Hellenic Arc (Crete island, Greece)" *Annali di Geofisica*, 43/2, 391-408, 2000
- [9] J.-S.R. Jang, C.-T. Sun and E. Mizutani, *Neuro-Fuzzy and Soft Computing*, Prentice Hall, 1996
- [10] D. Zhang, X. Bai and K. Cai, Extended neuro-fuzzy models of multiplayer perceptrons, *Fuzzy sets and systems*, 142, 221-242, 2004
- [11] A.A. Kaufman and G.V. Keller, *The Magnetotelluric Sounding Method*, Elsevier, 1981
- [12] K. Vozoff, The magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basins, *Geophysics*, 37, 98-141, 1972
- [13] L. Shlifkin, Seismic electric signals from displacement of charged dislocations, *Tectonophysics*, 224, 149-152, 1993
- [14] A. Tzanis and F. Vallianatos, A physical model of electrical earthquake precursors due to crack propagation and the motion of charged edge dislocations, *Seismoelectromagnetics*, IWSE, 2000

- [15] P. Varotsos and M. Lazaridou, Latest aspects of earthquake prediction in Greece based on seismic electric signals, *Tectonophysics*, 188, 321-347, 1991
- [16] P. Varotsos and K. Alexopoulos, Physical properties of the variations of the electric field of the Earth preceding earthquakes, I, *Tectonophysics*, 110, 73-98, 1984
- [17] Tzani, A. and Vallianatos, F., "A critical review of Electric Earthquake Precursors", *Annali di Geofisica*, 44/2, 429-460, 2001
- [18] K. Nomikos and P. Chatzidiakos, A telemetric system for measuring electrotelluric variations in Greece and its application to earthquake prediction, *Tectonophysics*, 224, 39-46, 1993
- [19] W. Whitworth, Charged dislocations in ionic crystals, *Advances in Physics*, 24, 203-304, 1975
- [20] L. Slifkin, Seismic electric signals from displacement of charged dislocations, *Tectonophysics*, 224, 149-152, 1993
- [21] K. Nomikos and F. Vallianatos, Transient electric variations associated with large intermediate-depth earthquakes in South Aegean, *Tectonophysics*, 269, 171-177, 1997
- [22] F. Vallianatos, A model for the generation of a low frequency pre-seismic electric field, *Ist Balkan Geophysical Congress*, Athens, 1996
- [23] V. Hadjicontis and C. Mavromatou, Transient electric signals prior to rock failure under uniaxial compression, *Geophys. Res. Lett.*, 21, 1687-1690, 1994

- [24] T. Ernst, J. Jankowski, C. Rozluski and R. Tesseyre, Analysis of the electromagnetic field recorded in Friuli seismic zone, NE Italy, *Tectonophysics*, 224, 141-148, 1993
- [25] Z. Chechowski, A kinetic model of crack fusion, *Geophysic Journal International*, 104, 419-422, 1991
- [26] Z. Chechowski, Dynamics of fracturing and cracks. In: Teisseyre, R. (Ed.), *Theory of Earthquake Premonitory and Fracture Processes*, Polish Scientific Publishers, 447-469, 1995
- [27] K. Nomikos, M. Bakatsakis, D. Paterakis, T. Kogionis, S. Sideris, B. Zaxaropoulos, C. Cristou, I. Kaliakatsos and F. Vallianatos, Development of a telemetric system for observation of radioemission associated with earthquakes in Crete island, *European Seismological Commission, XXVI General Assembly*, 1994
- [28] F. Vallianatos, Galvanic distortion of the MT impedance tensor: application to Ioannina VAN stations (Greece), *Acta Geophysica Polonica*, Vol. XLIII, 1995
- [29] P. Wasserman, *Neural computing: Theory and practice*, Van Nostrand, NY, 1989
- [30] T. Mitchel, *Machine learning*, Mc Graw Hill, 1997
- [31] D. Rumelhart, H. Geoffrey and R. Williams, Learning representations by back propagation errors, *Nature*, 323, 533-536, 1986
- [32] P. Werbos, Backpropagation through time: what it does and how to do it, *Proc. IEEE*, 78, 1550-1560, 1990

- [33] T. Ross, *Fuzzy logic with engineering applications*, McGraw-Hill, NY, 1995
- [34] L. Zadeh, *Fuzzy sets*, *Information and Control*, 8, 338-353, 1965
- [35] D. Dubois and H. Prade, *Fuzzy sets and systems: theory and applications*, Academic Press, NY, 1980
- [36] R. Yager, *On a general class of fuzzy connectives*, *Fuzzy sets and systems*, 4, 235-242, 1980
- [37] M. Sugeno and G. Kang, *Structure identification of fuzzy model*, *Fuzzy sets and systems*, 28, 15-33, 1988
- [38] A. Kandel, *Fuzzy expert systems*, CRC Press, Inc., FL, 1992
- [39] J. Jang, *ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference System*, *Systems, Man, and Cybernetics*, 23, 665-684, 1993
- [40] C. Beightler, D. Phillips and D. Wilde, *Foundations of optimisation*, Prentice Hall, NJ, 1979
- [41] B. Widrow and M. Lehr, *30 years of adaptive neural networks: Perceptron, madaline, and backpropagation*, *IEEE Proc.*, 78, 1415-1442, 1990

- [42] T. Hsia, System identification: least squares methods, D. C. Heath and Company, 1997
- [43] B. Kosko, Neural networks and fuzzy systems: a dynamical systems approach, Prentice Hall, NJ, 1991
- [44] R. Yager and D. Filev, Generation of fuzzy rules by mountain clustering, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2, 209-219, 1994
- [45] S. Chiu, Fuzzy model identification based on cluster estimation, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2, 267-278, 1994
- [46] J. Jang, Fuzzy modelling using generalised neural networks and Kalman filter algorithm, NASA supported research NCC-2-275, University of California, CA
- [47] S. Haykin, Neural networks: a comprehensive foundation, Macmillan College Publishing, 1994
- [48] P. Werbos, Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioural sciences, PhD thesis, Harvard University, 1974
- [49] D. Rumhart, G. Hinton and R. Williams, Learning internal representations by error propagation, In D. Rumhart and J. McClelland, editors, Parallel distributed processing: volume 1, chapter 8, pages 318-362, MIT Press, Cambridge, MA., 1986

- [50] L. Chan and F. Fallside, An adaptive training algorithm for back propagation networks, *Computer, Speech and Language*, 2, 205-218, 1987
- [51] J. Buchanan and P. Turner, Numerical methods and analysis, McGraw-Hill, NY, 1992
- [52] S. Fahlman, Faster-learning variations on back-propagation: an empirical study, In D. Touretzky, G. Hinton and T. Sejnowski, editors, Proceedings of the 1988 Connectionist Models Summer School, pages 38-51, Carnegie Mellon University
- [53] C. Sun, Rule-base structure identification in an adaptive network based fuzzy inference system, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2 (1), 64-73, 1994
- [54] L. Cagniard, Basic theory of the magneto-telluric method of geophysical prospecting: *Geophysics*, 18, 605-635, 1953
- [55] A. Tsonis, Chaos: From theory to applications, Plenum, 1992
- [56] D. Williams and G. Mead, Magnetospheric physics, *Proceedings of the International Symposium on the Physics of the Magnetosphere*, Washington DC, September 3-13, 1968
- [57] F. Vallianatos, V. Lapena, V. Troyan, N. Smirnova, Y. Kopytenko, V. Korepanov and C. Nomikos, Study of the ULF electromagnetic phenomena related to earthquakes: Strategy of the SUPRE project, *Seismo Electromagnetics, (Lithosphere, Atmosphere, Ionosphere Coupling)*, TERRAPUB, 2002

- [58] B. Widrow and D. Stearns, Adaptive signal processing, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1985
- [59] B. Kosko, Neural networks for signals processing, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1991