ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΣΕΡΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Τίτλος Πτυχιακής Εργασίας :

Ανάπτυξη περιβάλλοντος στο Matlab για τη μελέτη και εκμάθηση ασαφών συστημάτων

Σπουδάστριες Τμήματος Πληροφορικής και Επικοινωνιών:

Δάπκα Ελένη

Τερζή Σοφία

Σέρρες Ιούνιος 2005

Περιεχόμενα

Ι *Εισαγωγή* **4**
Κεφάλαιο 1
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΑΣΑΦΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ **5**
1.1 ΑΣΑΦΗ ΣΥΝΟΛΑ **6**
1.1.1 Από τα κλασσικά στα ασαφή σύνολα **6**
1.1.2 Χαρακτηριστικά των ασαφών συνόλων **7**
1.2 Συναρτήσεις συμμετοχής **8**
1.2.1 Μονοδιάστατες συναρτήσεις συμμετοχής **8**
1.2.2 Πολυδιάστατες συναρτήσεις συμμετοχής - η έννοια της ασαφούς περιοχής **9**
1.3 Λεκτικές μεταβλητές και ασαφείς κανόνες **10**
1.3.1 Λεκτικές μεταβλητές **10**
1.3.2 Ασαφείς κανόνες **10**
1.4 Συστήματα ασαφούς λογικής **11**
1.4.1 Το TSK ασαφές μοντέλο **12**
1.5 Υλοποίηση Μοντέλου Takagi-Sugeno-Kang **14**
***1.6* Εκπαίδευση του ασαφούς μοντέλου με τη μέθοδο BACK PROPAGATION (για γκαουσιανές συναρτήσεις συμμετοχής*)** **18**
Κεφάλαιο 2
ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ **21**
2.1 Οδηγίες για την εκτέλεση της εφαρμογής GUI **22**
Κεφάλαιο 3
ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΚΩΔΙΚΑ **41**
3.1 Grafical User Interface Designer (guide) **42**
3.1.1 Guide Control Panel **43**
3.1.2 Graphcis Property Editor **45**
3.1.3 Guide Callback Editor **46**
3.1.4 Guide Alignment Tool **47**
3.1.5 Guide Menu Editor **48**
3.2 Επεξήγηση Αρχείων **49**
3.2.1 Αρχείο readfile1.m **51**
3.2.2 Αρχείο readfile2.m **52**
3.2.3 Αρχείο dimiourgia.m **52**
3.2.4 Αρχείο omoiomorfi.m **54**
3.2.5 Αρχείο combFnk.m **56**
3.2.6 Αρχείο degff .m **59**
3.2.7 Αρχείο degff1 .m **62**
3.2.8 Αρχείο degff2.m **66**
3.2.9 Αρχείο upek.m **70**
3.2.10 Αρχείο upek2.m **74**
3.2.11 Αρχείο thEthm.m **78**
3.2.12 Αρχείο thEths.m **79**
3.2.13 Αρχείο thEthw.m **80**
3.2.14 Αρχείο thEthm2.m **81**
3.2.15 Αρχείο thEths2.m **83**
3.2.16 Αρχείο thEthw2.m **84**
Κεφάλαιο 4
ΓΡΑΦΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ **86**
4.1 Γραφικά αποτελέσματα μετρήσεων για το σύνολο δεδομένων Box_Jenkins **87**
4.1.2 Μέτρηση 2η **90**
4.1.3 Μέτρηση 3η **92**
4.1.4 Μέτρηση 4η **94**
4.1.5 Μέτρηση 5η **96**

4.1.6 Μέτρηση 6η 98
4.1.7 Μέτρηση 7η 100
4.1.8 Μέτρηση 8η 102
4.1.9 Μέτρηση 9η 104
4.1.10 Μέτρηση 10η 106
4.1.11 Μέτρηση 11η 108
4.1.12 Μέτρηση 12η 110
4.1.13 Μέτρηση 13η 112
4.1.14 Μέτρηση 14η 114
4.1.15 Μέτρηση 15η 116
4.1.16 Μέτρηση 16η 118
4.1.17 Μέτρηση 17η 120
4.1.18 Μέτρηση 18η 122
4.1.19 Μέτρηση 19η 124
4.1.20 Μέτρηση 20η 126
4.1.21 Μέτρηση 21η 128
4.1.22 Μέτρηση 22η 130
4.1.23 Μέτρηση 23η 132
4.1.24 Μέτρηση 24η 134
4.1.25 Μέτρηση 25η 136
4.1.26 Μέτρηση 26η 138
4.1.27 Μέτρηση 27η 140
4.1.28 Μέτρηση 28η 142
4.1.29 Μέτρηση 29η 144
4.1.30 Μέτρηση 30η 146
4.1.31 Μέτρηση 31η 148
4.3 Συμπεράσματα 150
Βιβλιογραφία 151

Εισαγωγή

Η εργασία αυτή αποτελεί μία εφαρμογή των ασαφών συστημάτων. Για την υλοποίησή της δημιουργήθηκε ένα εύχρηστο γραφικό περιβάλλον με την χρήση του πακέτου λογισμικού MATLAB, της εταιρίας Mathworks Inc (έκδοση 5.3). Εξετάστηκε το μοντέλο Takagi Sugeno Kang και η περίπτωση της γκαουσιανής (gaussian mf) συνάρτησης συμμετοχής.

Κεφάλαιο 1

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΑΣΑΦΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα βασικά στοιχεία της θεωρίας των ασαφών συστημάτων, τα οποία θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια της εργασίας. Συγκεκριμένα, αναφέρονται οι βασικές έννοιες των ασαφών συνόλων, παρατίθενται τα είδη των ασαφών κανόνων και περιγράφεται το σύστημα εξαγωγής ασαφών συμπερασμάτων, το οποίο υιοθετείται στην εργασία. Ακολούθως εξετάζεται το ζήτημα της αναγνώρισης των ασαφών συστημάτων.

1.1 ΑΣΑΦΗ ΣΥΝΟΛΑ

1.1.1 Από τα κλασσικά στα ασαφή σύνολα

Ένα κλασσικό σύνολο A (crisp set) αποτελεί μία συλλογή διακριτών αντικειμένων x. Ορίζεται κατά τρόπο ώστε να διχοτομεί τα στοιχεία ενός *πεδίου ορισμού* U (universe of discourse) σε δύο ομάδες: *α)* τα μέλη του συνόλου A και *β)* τα μη-μέλη. Κάθε ασαφές σύνολο περιγράφεται από μία συνάρτηση, η οποία καλείται *χαρακτηριστική συνάρτηση* $\mu_A(x)$ και ορίζεται ως εξής:

$$\mu_A(\mathrm{x})=\begin{cases}1, & \text{εάν και μόνο εάν } x \in A \\ 0, & \text{εάν και μόνο εάν } x \notin A\end{cases} \qquad (1.1)$$

Από τη (1.1) συνάγεται ότι το πεδίο τιμών της χαρακτηριστικής συνάρτησης ενός κλασσικού συνόλου είναι το $\{0, 1\}$, ακολουθώντας την αριστοτελική αρχή ότι οι δύο παραπάνω ομάδες είναι αμοιβαίως αποκλειόμενες [1]. Ο ορισμός της $\mu_A(x)$ υποδηλώνει ότι το όριο του κλασσικού συνόλου είναι σαφές και «απότομο», διχοτομώντας κατά τρόπο απόλυτα προσδιορισμένο το πεδίο ορισμού στις δύο παραπάνω ομάδες.

Το *ασαφές σύνολο* (fuzzy set) [2] αίρει τα σαφή όρια του κλασσικού συνόλου, επιτρέποντας τη συνύπαρξη των μέχρι πρότινος αποκλειόμενων ομάδων. Στηρίζεται στη σταδιακή μετάβαση από τη μία ομάδα στην άλλη, αρνούμενο το δίτιμο πεδίο τιμών για τη χαρακτηριστική συνάρτηση και εισάγοντας την έννοια του *βαθμού συμμετοχής* στο σύνολο (degree of membership). 'Ενα ασαφές σύνολο A μπορεί να ορισθεί ως ένα σύνολο διατεταγμένων ζευγών

$$A = \{x, \mu_A(x) \,|\, x \in U\} \qquad (1.2)$$

όπου η χαρακτηριστική συνάρτηση $\mu_A(.)$ ονομάζεται *συνάρτηση συμμετοχής* (**m**embership **f**unction, MF) του συνόλου A και η ποσότητα $\mu_A(x)$ εκφράζει το βαθμό συμμετοχής του στοιχείου x στο σύνολο A. Το πεδίο τιμών της $\mu_A(.)$ δεν είναι πλέον διακριτό, μπορεί να είναι ολόκληρο το υποσύνολο $\Re^+$ [3], στην πράξη όμως περιορίζεται στο διάστημα [0,1]. Το ζεύγος $\left(x, \mu_A(x)\right)$ καλείται singleton.

Από τα παραπάνω τεκμαίρεται ότι το ασαφές σύνολο αποτελεί μία γενίκευση του κλασσικού συνόλου, μεταβαίνοντας από τη δίτιμη λογική της «συμμετοχής» - «μη συμμετοχής» στην πλειότιμη

λογική του «βαθμού συμμετοχής».Έτσι δύνανται να περιγραφούν πιο αποτελεσματικά ασαφείς και απροσδιόριστες έννοιες του πραγματικού κόσμου.

1.1.2 Χαρακτηριστικά των ασαφών συνόλων

Σύνολο υποστήριξης ή ενεργός περιοχή (support): το σύνολο των στοιχείων $x \in U$ για τα οποία $\mu_A(x) > 0$

$$\text{support}(A) = \{ x \in U \mid \mu_A(x) > 0 \} \tag{1.3}$$

Πυρήνας ή κόρος (core): το σύνολο των στοιχείων $x \in U$ για τα οποία $\mu_A(x) = 1$

$$\text{core}(A) = \{ x \in U \mid \mu_A(x) = 1 \} \tag{1.4}$$

Κανονικό σύνολο (normal set): ένα ασαφές σύνολο είναι κανονικό όταν ο πυρήνας του δεν είναι το κενό σύνολο ή, με άλλα λόγια, υπάρχει τουλάχιστον ένα στοιχείο $x \in U$ τέτοιο ώστε $\mu_A(x) = 1$.

Σύνολο τομής-α (a-cut set), A_a: ένα κλασσικό σύνολο (crisp), το οποίο περιέχει όλα τα στοιχεία $x \in U$ που παρουσιάζουν βαθμό συμμετοχής μεγαλύτερο μίας τιμής *α*

$$A_a = \{ x \in U \mid \mu_A(x) \geq a \} \ , \quad 0 < a \leq 1 \tag{1.5}$$

Μέγεθος (cardinality) $|A|$: το άθροισμα των βαθμών συμμετοχής όλων των $x \in U$.

$$|A| = \sum_{x \in U} \mu_A(x) \tag{1.6}$$

Τομή ασαφών συνόλων (intersection): η τομή δύο ασαφών συνόλων *A* και *B* είναι ένα ασαφές σύνολο *C*, το οποίο συμβολίζεται με $C = A \cap B$ και έχει την ακόλουθη συνάρτηση συμμετοχής

$$\mu_C(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_A(x) \wedge \mu_B(x), \quad \forall x \in U \tag{1.7}$$

'Ενωση ασαφών συνόλων (union): Η ένωση δύο ασαφών συνόλων *A* και *B* είναι ένα ασαφές σύνολο *C*, το οποίο συμβολίζεται με $C = A \cup B$ και έχει την ακόλουθη συνάρτηση συμμετοχής

$$\mu_C(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] = \mu_A(x) \vee \mu_B(x), \quad \forall x \in U \tag{1.8}$$

Υποσύνολο A του ασαφούς συνόλου B (subset): το ασαφές σύνολο *A* είναι υποσύνολο του ασαφούς συνόλου *B* (το *A* περιέχεται στο *B*) εάν και μόνο εάν $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$ για κάθε $x \in U$

$$A \subseteq B \Leftrightarrow \mu_A(x) \leq \mu_B(x), \quad \forall x \in U \tag{1.9}$$

Εάν $A \subseteq B$ και $A \neq B$, τότε το A είναι *γνήσιο υποσύνολο* του B (proper subset) $A \subset B$. Για να ελεγχθεί ο βαθμός κατά τον οποίο το *A* είναι υποσύνολο του *B* χρησιμοποιείται το *μέτρο σχέσης υποσυνόλου* ή *βαθμού περιεκτικότητας* (subsethood measure) [6]

$$S(A,B) = \text{degree}(A \subseteq B) = \frac{|A \cap B|}{|A|} \tag{1.10}$$

Καρτεσιανό γινόμενο δύο ασαφών συνόλων (cartesian product): Το καρτεσιανό γινόμενο δύο ασαφών συνόλων A_1 και A_2, τα οποία ορίζονται στους χώρους U_1 και U_2 αντίστοιχα, είναι ένα διδιάστατο ασαφές σύνολο $A = A_1 \times A_2$, με πεδίο ορισμού το χώρο $U = U_1 \times U_2$. Η συνάρτηση συμμετοχής του A ορίζεται ως

$$\mu_A(x_1,x_2) = \mu_{A_1}(x_1) \wedge \mu_{A_2}(x_2) \tag{1.11}$$

όπου ο τελεστής $\wedge$ μπορεί να λάβει διάφορες μορφές (min , γινόμενο κ.λ.π.). Στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιείται ο τελεστής *γινόμενο*.

Ο παραπάνω ορισμός μπορεί να γενικευθεί και να επεκταθεί σε χώρους n διαστάσεων.

1.2 Συναρτήσεις συμμετοχής

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιούνται δύο είδη συναρτήσεων συμμετοχής· η τριγωνική και η γκαουσιανή. Αρχικά περιγράφονται τα χαρακτηριστικά των μονοδιάστατων συναρτήσεων συμμετοχής, οι οποίες στη συνέχεια γενικεύονται και παρουσιάζονται σε χώρο περισσότερων διαστάσεων. Οι πολυδιάστατες συναρτήσεις συμμετοχής αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο της εργασίας, καθώς διευκολύνουν την εξέταση ζητημάτων αναγνώρισης δομής.

1.2.1 Μονοδιάστατες συναρτήσεις συμμετοχής

Η *τριγωνική* συνάρτηση συμμετοχής (triangular MF) καθορίζεται πλήρως από την τριάδα των παραμέτρων {a,b,c}:

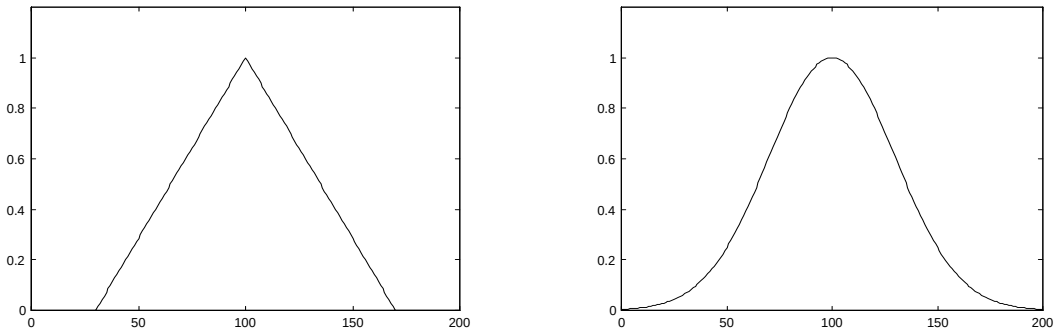
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & x \le a \\ \dfrac{x-a}{b-a} & a \le x \le b \\ \dfrac{c-x}{c-b} & b \le x \le c \\ 1 & c \le x \end{cases} \tag{1.12}$$

Στο 1.1(α) απεικονίζεται μία τριγωνική συνάρτηση συμμετοχής με $a = 30$, $b = 100$ και $c = 170$.

Η *γκαουσιανή* ή *καμπανοειδής* συνάρτηση συμμετοχής (gaussian MF) είναι μία συνάρτηση με ακτινική συμμετρία και περιγράφεται από δύο παραμέτρους $\{m, \sigma\}$:

$$\mu_A(x) = e^{-\frac{1}{2}\cdot\frac{(x-m)^2}{\sigma^2}} \tag{1.13}$$

Στο Σχ. 1.1(β) απεικονίζεται με $m=100$ και $\sigma=30$. Καθώς η γκαουσιανή συνάρτηση είναι παρόμοια με την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας, που χρησιμοποιείται στην θεωρία πιθανοτήτων για να προσδιορίσει την *κανονική κατανομή*, οι παράμετροι των συναρτήσεων συμμετοχής m και σ καλούνται *μέση τιμή* και *τυπική απόκλιση*, αντίστοιχα.



(α) Τριγωνική συνάρτηση συμμετοχής (β) Γκαουσιανή συνάρτηση συμμετοχής

Σχήμα 1.1

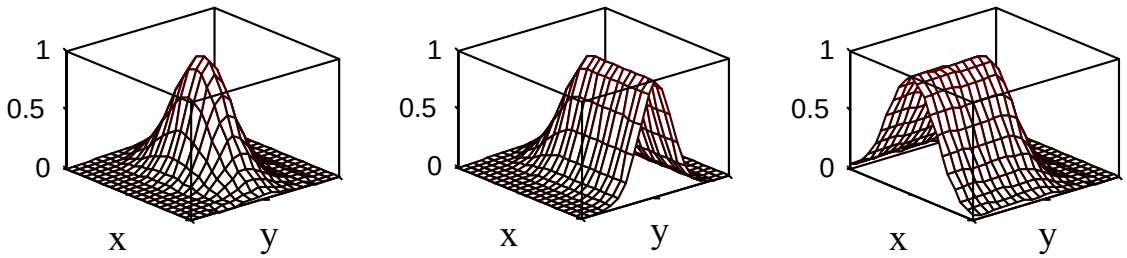
Μονοδιάστατες συναρτήσεις συμμετοχής

1.2.2 Πολυδιάστατες συναρτήσεις συμμετοχής - η έννοια της ασαφούς περιοχής

Από την έννοια του καρτεσιανού γινομένου των ασαφών συνόλων (§1.2.1), έπεται ότι ένα πολυδιάστατο ασαφές σύνολο μπορεί να περιγραφεί από μία συνάρτηση συμμετοχής, η οποία αποτελεί το γινόμενο των συναρτήσεων συμμετοχής, που περιγράφουν τις συνιστώσες του πολυδιάστατου συνόλου. Κατά συνέπεια, το ασαφές σύνολο $A = A_1 \times A_2 \times ... \times A_n$, του οποίου οι συνιστώσες σε κάθε διάσταση περιγράφονται από MF συμμετοχής $\mu_{A_j}(x_j) = e^{-\frac{1}{2}\cdot\frac{(x_j-m_j)^2}{\sigma_j^2}}$, θα έχει την ακόλουθη συνάρτηση συμμετοχής

$$\mu_A(x_1,x_2,...,x_n) = e^{-\frac{1}{2}\cdot\left[\frac{(x_1-m_1)^2}{\sigma_1^2}+...+\frac{(x_n-m_n)^2}{\sigma_n^2}\right]} = e^{-\frac{1}{2}\cdot\frac{(x_1-m_1)^2}{\sigma_1^2}} \times ... \times e^{-\frac{1}{2}\cdot\frac{(x_n-m_n)^2}{\sigma_n^2}} = \mu_{A_1}(x_1)\times ... \times \mu_{A_n}(x_n) \tag{1.14}$$

Το πολυδιάστατο ασαφές σύνολο ορίζει μία *ασαφή περιοχή* (fuzzy region) μέσα στο πεδίο ορισμού $U = U_1 \times U_2 \times ... \times U_n$, με τις συναρτήσεις συμμετοχής των A_j να αποτελούν τις *προβολές* της $\mu_A(x_1,x_2,...,x_n)$ στα U_j, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.2 για τη διδιάστατη περίπτωση. Η $\mu_A(x_1,x_2,...,x_n)$ παραμετροποιείται με το *κέντρο* της $\boldsymbol{m}=[m_1,...,m_n]^T$ και το διάνυσμα των τυπικών αποκλίσεων $\boldsymbol{\sigma}=[\sigma_1,...,\sigma_n]^T$.



(α) Διδιάστατη γκαουσιανή MF (β) Προβολή της MF στον άξονα x (γ) Προβολή της MF στον άξονα y

Σχήμα 1.2

Διδιάστατη γκαουσιανή MF

1.3 Λεκτικές μεταβλητές και ασαφείς κανόνες

1.3.1 Λεκτικές μεταβλητές

’Οπως σημειώνει ο Zadeh [2], οι συμβατικές τεχνικές ανάλυσης συστημάτων είναι ακατάλληλες να διαχειρισθούν την πληροφορία που εμπεριέχεται στην ανθρώπινη σκέψη και τη φυσική γλώσσα, καθώς αυτές επηρεάζονται από την κρίση, την αντίληψη και τα συναισθήματα. Για το λόγο αυτό πρότεινε την έννοια των *λεκτικών* ή *γλωσσικών* μεταβλητών (linguistic variables) [7] ως μία εναλλακτική προσέγγιση στη μοντελοποίηση της ανθρώπινης σκέψης.

Μια λεκτική μεταβλητή χαρακτηρίζεται από την πεντάδα: $\left(x, T(x), X, G, M\right)$, όπου

- x είναι το όνομα της ασαφούς μεταβλητής, π.χ. «θερμοκρασία».
- $T(x)$ είναι το *σύνολο των λεκτικών όρων* (term set), π.χ. T(θερμοκρασία) = {«χαμηλή»,«μέση»}.
- X είναι το *πεδίο ορισμού* της λεκτικής μεταβλητής.
- G είναι ένας *συντακτικός κανόνας* (syntactic rule), ο οποίος παράγει τους όρους του $T(x)$.
- M είναι ένας *ερμηνευτικός κανόνας* (semantic rule), ο οποίος προσδίδει σε κάθε λεκτικό όρο $A \in T(x)$ μία συνάρτηση συμμετοχής $\mu_A(x)$.

1.3.2 Ασαφείς κανόνες

Οι *ασαφείς κανόνες* (fuzzy IF-THEN rules) είναι υποθετικές προτάσεις, οι οποίες έχουν την ακόλουθη γενική μορφή:

$$IF\ x\ is\ A\ \ THEN\ \ y\ is\ B \tag{1.15}$$

όπου οι A και B είναι λεκτικοί όροι των x και y, οριζόμενοι από ασαφή σύνολα στους χώρους X και Y, αντίστοιχα. Οι εκφράσεις $x\ is\ A$ και $y\ is\ B$ είναι *ασαφείς προτάσεις* (fuzzy propositions)

και αποτελούν τα δύο τμήματα του υποθετικού λόγου (1.15). Το αριστερό τμήμα του ασαφούς κανόνα, $IF\ x\ is\ A$, καλείται *τμήμα υπόθεσης* ή *προαπαίτησης* (pre-conditional part, premise part) και περιλαμβάνει την υπόθεση. Το δεξιό τμήμα του ασαφούς κανόνα, $THEN\ y\ is\ B$, είναι *το τμήμα απόδοσης* ή *συμπεράσματος* (consequent part) και περιλαμβάνει το συμπέρασμα του κανόνα.

Ο ασαφής κανόνας (1.15) εναλλακτικά περιγράφεται ως $A \rightarrow B$ και ορίζει μια ασαφή σχέση ανάμεσα στις μεταβλητές x και y, η οποία συσχετίζει τον βαθμό εκπλήρωσης της υπόθεσης με εκείνον του συμπεράσματος. Οι ασαφείς κανόνες αποτελούν τα βασικά δομικά στοιχεία ενός συστήματος εξαγωγής ασαφών συμπερασμάτων.

1.4 Συστήματα ασαφούς λογικής

Το σύστημα ασαφούς λογικής παράγει μία απεικόνιση ενός χώρου εισόδου $U \subset \Re^m$ σε ένα χώρο εξόδου $V \subset \Re^r$. Ας θεωρηθεί η πλέον γενική περίπτωση όπου το σύστημα είναι πολλών εισόδων, πολλών εξόδων (**m**ultiple-**i**nput, **m**ultiple-**o**utput, MIMO)· θεωρώντας m τον αριθμό των εισόδων και r τον αριθμό των εξόδων, τόσο ο χώρος εισόδου όσο και ο χώρος εξόδου θα είναι πολυδιάστατοι, ο μεν οριζόμενος ως $U = U_1 \times \ldots \times U_m$ και ο δε ως $V = V_1 \times \ldots \times V_r$, όπου $U_i, V_j \subset \Re$. 'Εστω $\boldsymbol{u}=[u_1\ \ u_2\ \ldots\ u_m]^T$ και $\boldsymbol{y}=[y_1\ \ y_2\ \ldots\ y_r]^T$ τα διανύσματα εισόδου και εξόδου, αντίστοιχα. Το σύστημα ασαφούς λογικής αποτελείται τα ακόλουθα λειτουργικά τμήματα [8]:

- τον *ασαφοποιητή* (fuzzifier), ο οποίος μετασχηματίζει τις σαφείς (crisp) εισόδους σε βαθμούς συμμετοχής των λεκτικών μεταβλητών.
- τη *βάση κανόνων* (rule base), η οποία συνιστά μία συλλογή ασαφών IF-THEN κανόνων.
- τη *μονάδα ασαφούς συμπερασμού* (fuzzy inference unit), η οποία επεξεργάζεται τις εξόδους του ασαφοποιητή και χρησιμοποιεί τη βάση κανόνων για να εξαγάγει τις εξόδους των κανόνων.
- τον *αποασαφοποιητή* (defuzzifier), η οποία παράγει τις τελικές εξόδους του συστήματος.

Ανάλογα με τη μορφή των τμημάτων απόδοσης των κανόνων και τον τρόπο συμπερασμού των εξόδων των κανόνων, τα συστήματα ασαφούς λογικής διακρίνονται σε δύο μείζονες κατηγορίες: *α)* τα μοντέλα Mamdani [9], σύμφωνα με τα οποία οι έξοδοι των κανόνων είναι ασαφή σύνολα και *β)* τα μοντέλα Takagi-Sugeno-Kang (TSK μοντέλα) [10], σύμφωνα με τα οποία οι έξοδοι των κανόνων είναι συναρτήσεις των εισόδων. Τα μοντέλα Mamdani επιχειρούν να μοντελοποιήσουν μία διαδικασία παρέχοντας μία ποιοτική περιγραφή της λειτουργίας του συστήματος. Συνιστώνται για τις περιπτώσεις όπου η γνώση του συστήματος προσφέρεται από εμπειρογνώμονες. Τα TSK μοντέλα συνίστανται από μία συλλογή γραμμικών ή μη γραμμικών υπομοντέλων (τμήματα απόδοσης των ασαφών κανόνων), τα οποία συνδέονται μη γραμμικά μέσω των τμημάτων υπόθεσης των κανόνων. Συγκρινόμενα με τα μοντέλα Mamdani, εμφανίζουν διευρυμένες δυνατότητες διαχείρισης της γνώσης, όταν αυτή

παρέχεται στη μορφή δεδομένων εισόδου-εξόδου. Το γεγονός ότι οι έξοδοι των κανόνων αποτελούν συναρτήσεις των εισόδων προσδίδει μεγάλη ευελιξία στην ανάπτυξη κανόνων και, όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία [11], τα TSK μοντέλα απαιτούν μικρότερη βάση κανόνων από τα μοντέλα Mamdani. Με βάση τα παραπάνω, στην εργασία θα χρησιμοποιηθεί το TSK ασαφές μοντέλο, το οποίο αναπτύσσεται ακολούθως.

1.4.1 Το TSK ασαφές μοντέλο

Το TSK ασαφή μοντέλα συνίστανται από γλωσσικούς κανόνες IF-THEN, οι οποίοι μπορούν να παρασταθούν με την ακόλουθη γενική μορφή, για την περίπτωση ενός συστήματος MIMO:

$$\begin{aligned} R^{(j)}:\ & IF\ u_1 \text{ is } A_1^j \text{ AND } u_2 \text{ is } A_2^j \text{ AND } \ldots \text{ AND } u_m \text{ is } A_m^j \\ & THEN\ g_j^{(1)} = g_j^{(1)}(\boldsymbol{u}) \text{ AND } \ldots \text{ AND } g_j^{(r)} = g_j^{(r)}(\boldsymbol{u}) \qquad j = 1, \ldots, n \end{aligned} \tag{1.16}$$

όπου m είναι ο αριθμός των εισόδων, r ο αριθμός των εξόδων και n ο αριθμός των κανόνων, αντίστοιχα. Ο όρος $g_j^{(k)}$ είναι μία μη γραμμική συνάρτηση των μεταβλητών εισόδου και εκφράζει τη συμβολή του *j*-στού κανόνα στην *k*-στή συνιστώσα του διανύσματος εξόδου. Οι A_i^j είναι λεκτικοί όροι των ασαφών συνόλων που αναφέρονται στον *j*-στό κανόνα. Κάθε A_i^j συνδέεται με μία συνάρτηση συμμετοχής $\mu_{A_i^j}(u_i)$, η οποία καθορίζει το βαθμό κατά τον οποίο ένα δεδομένο εισόδου u_i ανήκει στο ασαφές σύνολο A_i^j. Οι συναρτήσεις συμμετοχής, που χρησιμοποιούνται, είναι γκαουσιανές και δίνονται από την (1.13). Οι παράμετροι των συναρτήσεων συμμετοχής συνιστούν το σύνολο των παραμέτρων υπόθεσης.

Ο *βαθμός εκπλήρωσης* (degree of fulfilment) κάθε κανόνα $R^{(j)}$ δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\mu_j(\boldsymbol{u}) = \mu_{A_1^j}(u_1) \cdot \mu_{A_2^j}(u_2) \ldots \mu_{A_m^j}(u_m) \tag{1.17}$$

Ο βαθμός εκπλήρωσης ενός κανόνα εκφράζει το ποσοστό κατά το οποίο συμβάλλει ο κανόνας στην εξαγωγή της συνολικής εξόδου του συστήματος, όταν το τελευταίο δέχεται ως είσοδο το διάνυσμα $\boldsymbol{u}$, εκφράζει δηλαδή το επίπεδο ενεργοποίησης του κανόνα.

Συγκρίνοντας τη (1.17) με τη (1.14) προκύπτει ότι έχουν την ίδια μορφή. Κατά συνέπεια μπορεί να υποστηριχθεί ότι τα ασαφή σύνολα ενός κανόνα σχηματίζουν μία *ασαφή περιοχή* (ομάδα) μέσα στο χώρο υπόθεσης, $A_1^j \times A_2^j \times \cdots \times A_m^j$, με κατανομή συμμετοχής που περιγράφεται από την (1.17). Με αυτό τον τρόπο, εφόσον κάθε κανόνας σχετίζεται με μία ασαφή περιοχή, η τελευταία μπορεί να θεωρηθεί ως το πολυδιάστατο *ασαφές σύνολο του κανόνα*, χαρακτηριζόμενο από τη *συνάρτηση συμμετοχής του κανόνα* (**r**ule **m**embership **f**unction, RMF). Η συνάρτηση $\mu_j(z)$ έχει τα χαρακτηριστικά συνάρτησης συμμετοχής πολυδιάστατου συνόλου, με κέντρο το σημείο

$\boldsymbol{c}_j = [m_{1j}, ..., m_{mj}]^T$ και τα αντίστοιχα ασαφή σύνολα να αντιπροσωπεύουν τις προβολές της στους άξονες εισόδου. Χάριν απλότητας, εφεξής η ασαφής περιοχή θα δηλώνεται ως RMF.

Δοθέντος ενός διανύσματος εισόδου $\boldsymbol{u}$, η k-στή συνιστώσα εξόδου y_k του ασαφούς συστήματος εξάγεται με χρήση της *μεθόδου αποασαφοποίησης του σταθμισμένου μέσου* (weighted average defuzzification method) [12]:

$$y_k = \frac{\sum_{j=1}^{n} \mu_j g_j^{(k)}}{\sum_{j=1}^{n} \mu_j}, \; k = 1, \ldots, r \qquad (1.18)$$

Το ασαφές μοντέλο που περιγράφεται με τις εξισώσεις (1.16)-(1.18) και έχει ως εξόδους των κανόνων μη γραμμικές συναρτήσεις, ονομάζεται quasinonlinear ασαφές μοντέλο (QNFM) [13]. Αν οι έξοδοι των κανόνων γίνουν γραμμικά πολυώνυμα των εισόδων:

$$g_j^{(k)} = w_{0j}^{(k)} + w_{1j}^{(k)} u_1 + \ldots + w_{mj}^{(k)} u_m \quad k = 1, \ldots, r, \quad j = 1, \ldots, n \qquad (1.19)$$

οδηγούμαστε στο quasilinear ασαφές μοντέλο (QLFM), το οποίο ταυτίζεται με το συμβατικό TSK μοντέλο, όπως αυτό προτάθηκε από τους συγγραφείς στην εργασία [10]. Οι $\boldsymbol{w}_j^{(k)} = [w_{0j}^{(k)}, w_{1j}^{(k)}, ..., w_{mj}^{(k)}]^T$ είναι πολυωνυμικοί συντελεστές, οι οποίοι σχηματίζουν το σύνολο των παραμέτρων απόδοσης.

Τα TSK μοντέλα αποσκοπούν στο διαχωρισμό του χώρου υπόθεσης (premise space) σε n ασαφείς περιοχές και την προσέγγιση του συστήματος σε κάθε περιοχή με βάση τη συνάρτηση που δημιουργούν οι είσοδοι (για τα QLFM μοντέλα ο χώρος απόδοσης είναι ένα υπερεπίπεδο). Υπ' αυτή την έννοια το συνολικό ασαφές μοντέλο μπορεί να θεωρηθεί ως μία σύνθεση διασυνδεδεμένων απλούστερων υποσυστημάτων, καθένα από τα οποία περιγράφονται με τον όρο $g_j^{(k)}$. Τόσο το QLFM όσο και QNFM είναι μη γραμμικά μοντέλα, ένεκα του τμήματος υπόθεσης· επιπρόσθετα στα QNFM εισάγεται μη γραμμικότητα και στα τμήματα απόδοσης. Στην περίπτωση που το πολυώνυμο της (1.19) γίνει μηδενικής τάξης (σταθερός συντελεστής), το TSK μοντέλο ταυτίζεται με το μοντέλο Mamdani, όταν η έξοδος κανόνα του τελευταίου είναι σαφής (crisp).

Στον TSK ασαφή κανόνα της (1.16) τα τμήματα υπόθεσης και απόδοσης έχουν κοινό διάνυσμα εισόδου. Η (1.16) μπορεί να γενικευθεί εισάγοντας διαφορετικά διανύσματα εισόδου στα δύο τμήματα. Στην περίπωση αυτή γίνεται

$$R^{(j)}: IF\, z_1 \; is \; A_1^j \; AND \ldots AND\, z_m \; is \; A_m^j \quad THEN \quad g_j^{(k)} = g_j^{(k)}(u_1, ..., u_n) \qquad (1.20)$$

Το διάνυσμα $\boldsymbol{z} = [z_1, ..., z_m]^T$ είναι το διάνυσμα εισόδου του τμήματος υπόθεσης και ορίζεται στο χώρο υπόθεσης $Z = Z_1 \times \cdots \times Z_m \subset \Re^m$, ενώ $\boldsymbol{u} = [u_1, ..., u_n]^T$ είναι το διάνυσμα εισόδου του χώρου

απόδοσης και ορίζεται στο χώρο $U=U_1 \times \cdots \times U_n \subset \Re^n$. Το συνολικό διάνυσμα εισόδου του ασαφούς συστήματος είναι $\boldsymbol{x} = [z^T, \boldsymbol{u}^T]^T$ και έχει πεδίο ορισμού $\aleph = Z \times U$. Η (1.18) λαμβάνει τη μορφή

$$y_k = \frac{\sum_{j=1}^{n} \mu_j(z) g_j^{(k)}(\boldsymbol{u})}{\sum_{j=1}^{n} \mu_j(z)} = \sum_{j=1}^{n} \upsilon_j(z) g_j^{(k)}(\boldsymbol{u}) \ , \qquad k = 1, \ldots, r \qquad (1.21)$$

όπου

$$\upsilon_j(z) = \frac{\mu_j(z)}{\sum_{j=1}^{n} \mu_j(z)} \qquad (1.22)$$

είναι ο *κανονικοποιημένος βαθμός εκπλήρωσης κανόνα.*

1.5 Υλοποίηση Μοντέλου Takagi-Sugeno-Kang

Ποιο συγκεκριμένα για την πραγματοποίηση του μοντέλου υλοποιήθηκαν τα παρακάτω βήματα

- Κάθε σύνολο δεδομένων αποτελείται από δεδομένα εισόδου-εξόδου (έστω k_f σε πλήθος).

Για *m* εισόδους και *r* εξόδους, το *k* δεδομένο θα λαμβάνει τη μορφή:

Είσοδοι: $[u_1(k)\ \ u_2(k)\ \ \ldots\ u_m(k)]^T$ Έξοδοι: $[z_1(k)\ \ z_2(k)\ \ \ldots\ z_r(k)]^T$

- Διαβάστηκαν αρχεία δεδομένων (αρχεία txt), τα οποία περιέχουν κατά στήλες πρώτα τις εισόδους (1 έως *m*) και μετά τις εξόδους (1 έως *r*). Κάθε γραμμή είναι ένα δεδομένο $k = 1, 2, \ldots, k_f$. Άρα δημιουργήθηκαν πίνακες με τα δεδομένα εισόδου και τα δεδομένα εξόδου.
- Τα δεδομένα εισόδου-εξόδου <u>*κανονικοποιήθηκαν*</u> στο διάστημα [lower upper]=[-1 1]: για κάθε είσοδο και κάθε έξοδο βρέθηκε το μέγιστο και ελάχιστο (max και min) και το πραγματικό δεδομένο (π.χ. *t*) μετασχηματίσθηκε στο κανονικοποιημένο δεδομένο *t΄*

  *t΄=((upper-lower)*t+max*lower-min*upper)/(max-min)*
- Όταν αργότερα τα αποτελέσματα πρόκειται είτε να αποθηκευθούν είτε να απεικονισθούν γραφικά, τότε τα δεδομένα επανέρχονται στην αρχική τους μορφή με την <u>*αποκανονικοποίηση*</u>:

  t΄΄=((max-min) t΄+(upper*min-lower*max))/(upper-lower)*

Τα Takagi-Sugeno-Kang ασαφή μοντέλα συνίστανται από γλωσσικούς κανόνες IF-THEN. Ο *j* κανόνας μπορεί να παρασταθεί με την ακόλουθη μορφή, για την περίπτωση ενός συστήματος πολλών εισόδων - πολλών εξόδων:

Έστω ότι το σύνολο δεδομένων (data set) αποτελείται από k_f δεδομένα εισόδου-εξόδου.

Είσοδοι για το *k* δεδομένο: $[u_1(k), u_2(k), ..., u_m(k)]^T$ $k = 1,2,...,k_f$ (1.23)

Έξοδοι για το *k* δεδομένο: $[\hat{y}_1(k), \hat{y}_2(k), ..., \hat{y}_r(k)]^T$ $k = 1,2,...,k_f$ (1.24)

Το κλασσικό TSK μοντέλο *m* εισόδων και *r* εξόδων αποτελείται από *N* ασαφείς κανόνες της μορφής:

$$\begin{aligned} R^{(i)} :& IF\ u_1(k)\ is\ A_1^i\ AND...AND\ u_m(k)\ is\ A_m^i \\ & THEN\ g_i^{(1)}(k) = w_{i0}^{(1)} + w_{i1}^{(1)}u_1(k) + ... + w_{im}^{(1)}u_m(k)\ AND... \\ & ...AND\ \ g_i^{(l)}(k) = w_{i0}^{(l)} + w_{i1}^{(l)}u_1(k) + ... + w_{im}^{(l)}u_m(k)\ \ AND... \\ & ...AND\ \ g_i^{(r)}(k) = w_{i0}^{(r)} + w_{i1}^{(r)}u_1(k) + ... + w_{im}^{(r)}u_m(k) \end{aligned} \tag{1.25}$$

όπου

j: δείκτης κανόνα, $j = 1,...,N$

l: δείκτης της εξόδου, $l = 1,...,r$

$w_{ij}^{(l)}$: το consequent βάρος του *i* κανόνα που σχετίζεται με τη *j* είσοδο και την *l* έξοδο

$g_i^{(l)}(k)$: η *l* έξοδος του *i* κανόνα για το *k* δεδομένο εισόδου-εξόδου

Οι παράμετροι των συναρτήσεων συμμετοχής συνιστούν το σύνολο των παραμέτρων υπόθεσης.

- Για γκαουσιανές συναρτήσεις οι παράμετροι είναι *m*,*σ*.

Τα ασαφή σύνολα έχουν Gaussian membership function:

$$\mu_{Ajp}(u_j(k)) = \exp[-\frac{1}{2} \cdot \frac{(u_j(k) - m_{jp})^2}{\sigma_{jp}^2}] \tag{1.26}$$

όπου

$\mu_{Ajp}(u_j(k))$: η συνάρτηση συμμετοχής του *p* συνόλου της *j* εισόδου

m_{jp}: το premise βάρος «μέσο» για την ανωτέρω συνάρτηση συμμετοχής

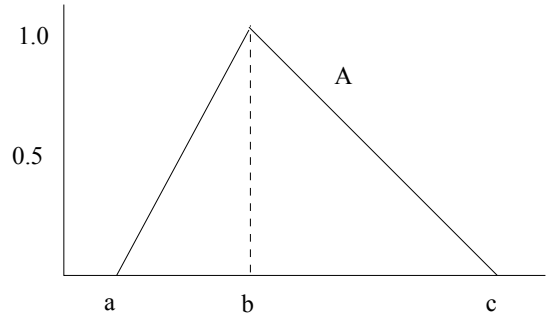
σ_{jp}: το premise βάρος «τυπική απόκλιση» για την ανωτέρω συνάρτηση συμμετοχής

- Για τριγωνικές είναι τρεις:

$$tri\_MF(x;a,b,c) = \begin{cases} 0 & x \le a \\ \dfrac{x-a}{b-a} & a \le x \le b \\ \dfrac{c-x}{c-b} & b \le x \le c \\ 1 & c \le x \end{cases}$$

Η tri_MF και οι παράμετροί της φαίνονται στο σχήμα. Οι παράμετροι {*a*,*b*,*c*} καθορίζουν τις τρεις κορυφές της συνάρτησης συμμετοχής.

Τριγωνική συνάρτηση συμμετοχής



Δεν είναι απαραίτητο οι δύο πλάγιες πλευρές να έχουν την ίδια διάσταση (δηλαδή να είναι ισοσκελές τρίγωνο). Βέβαια, στην πλειονότητα των περιπτώσεων είναι ισοσκελές.

- Όταν η αρχικοποίηση των συναρτήσεων συμμετοχής γίνεται από το χρήστη, ζητείτε για κάθε ασαφές σύνολο οι τιμές των παραμέτρων: για τη γκαουσιανή ζητείτε τα *m*,*σ* και για την τριγωνική τα *a*,*b*,*c*. Γίνεται έλεγχος ώστε το *m* και τα *a*,*b*,*c* να μη βγαίνουν εκτός του [-1 1].
- Όταν η αρχικοποίηση των συναρτήσεων συμμετοχής γίνεται ομοιόμορφα, για τις γκαουσιανές συναρτήσεις τα *m* και *σ* υπολογίζονται ως εξής:

$m_i = \frac{(i-1)\cdot|upper-lower|}{n-1} + lower$, *i=1,2,...,n* όπου n ο αριθμός των ασαφών συνόλων για τη συγκεκριμένη είσοδο ή έξοδο.

$\sigma_i = \frac{|upper-lower|}{2(n-1)} \cdot \frac{1}{\sqrt{-2\cdot\ln(\gamma)}}$, *i=1,2,...,n* όπου n ο αριθμός των ασαφών συνόλων για τη συγκεκριμένη είσοδο ή έξοδο και *γ* ο συντελεστής επικάλυψης (από 0.2 έως 0.5, το καθορίζει ο χρήστης).

- Όταν η αρχικοποίηση των συναρτήσεων συμμετοχής γίνεται ομοιόμορφα σε *n* ασαφή σύνολα με τριγωνικές συναρτήσεις, τα τρίγωνα θα είναι ισοσκελή και τα *a*,*b*,*c* υπολογίζονται ως εξής:

Τα $b_i = lower + \frac{upper-lower}{n-1}\cdot(i-1)$, *i=1,2,...,n.*

Το $a_1 = lower$ και το $c_n = upper$

Τα υπόλοιπα $a_i = lower + \frac{upper-lower}{n-1}\cdot(i-1) - \frac{upper-lower}{2(n-1)(1-\gamma)}$, *i=2,...,n.*

Τα υπόλοιπα $c_i = lower + \frac{upper-lower}{n-1}\cdot(i-1) + \frac{upper-lower}{2(n-1)(1-\gamma)}$, *i=1,...,n-1.*

Βαθμός εκπλήρωσης του *i* κανόνα

Παρακάτω παρουσιάζεται μία κοινή εξίσωση για το βαθμό εκπλήρωσης (degree of fulfilment) ενός κανόνα:

- Στην <u>*πλήρη βάση*</u> κανόνων κάθε ασαφές σύνολο μίας εισόδου θα συμμετέχει σε κάποιους κανόνες. Εάν η είσοδος u_j έχει n_j ασαφή σύνολα, τότε ο συνολικός αριθμός κανόνων θα είναι

$$N = \prod_{j=1}^{m} n_j \tag{1.27}$$

π.χ. για 3 εισόδους και για 2,2,2 σύνολα στην πρώτη, δεύτερη και τρίτη είσοδο, αντίστοιχα, η (1.27) δίνει $N = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 = 2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$ κανόνες.

Για να γίνει η συσχέτιση των ασαφών συνόλων με τους κανόνες στους οποίους συμμετέχουν χρησιμοποιείται ο ακόλουθος συντελεστής:

$$\gamma_{jp}^{(i)} = \begin{cases} 1, \text{ εάν το } p \text{ ασαφές σύνολο της } j \text{ εισόδου συμμετέχει στον } i \text{ κανόνα} \\ 0, \text{ διαφορετικά} \end{cases} \tag{1.28}$$

Έτσι ο βαθμός εκπλήρωσης γίνεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$\mu_i(k) = \prod_{j=1}^{m} \left[\sum_{p=1}^{n_j} \gamma_{jp}^{(i)} \cdot \mu_{Ajp}(u_j(k)) \right] \tag{1.29}$$

π.χ. για 2 εισόδους και $n_1 = 2$, $n_2 = 3$ θα ισχύει:

Είσοδος 2, σύνολο 3	*Κανόνας 3*	*Κανόνας 6*
Είσοδος 2, σύνολο 2	*Κανόνας 2*	*Κανόνας 5*
Είσοδος 2, σύνολο 1	*Κανόνας 1*	*Κανόνας 4*
	Είσοδος 1, σύνολο 1	**Είσοδος 1, σύνολο 2**

Άρα για τα σύνολα της πρώτης εισόδου προκύπτει: $\gamma_{11}^{(1)} = 1$, $\gamma_{12}^{(1)} = 0$, $\gamma_{11}^{(2)} = 1$, $\gamma_{12}^{(2)} = 0$, $\gamma_{11}^{(3)} = 1$, $\gamma_{12}^{(3)} = 0$, $\gamma_{11}^{(4)} = 0$, $\gamma_{12}^{(4)} = 1$, $\gamma_{11}^{(5)} = 0$, $\gamma_{12}^{(5)} = 1$, $\gamma_{11}^{(6)} = 0$, $\gamma_{12}^{(6)} = 1$

Αντίστοιχα προκύπτουν οι τιμές του $\gamma_{jp}^{(i)}$ για τα σύνολα της δεύτερης εισόδου.

- Στη <u>*μη πλήρη βάση*</u> κανόνων χρησιμοποιείται η (1.29).

π.χ. για 2 εισόδους και $n_1 = 2$, $n_2 = 3$ και 4 κανόνες θα ισχύει:

Είσοδος 1, σύνολο 3	*Κανόνας 2*	*Κανόνας 4*
Είσοδος 1, σύνολο 2		*Κανόνας 3*
Είσοδος 2, σύνολο 1	*Κανόνας 1*	
	Είσοδος 1, σύνολο 1	**Είσοδος 1, σύνολο 2**

Άρα για τα σύνολα της πρώτης εισόδου προκύπτει: $\gamma_{11}^{(1)}=1$, $\gamma_{12}^{(1)}=0$, $\gamma_{11}^{(2)}=1$, $\gamma_{12}^{(2)}=0$, $\gamma_{11}^{(3)}=0$, $\gamma_{12}^{(3)}=1$, $\gamma_{11}^{(4)}=0$, $\gamma_{12}^{(4)}=1$.

- Αντίστοιχα προκύπτουν οι τιμές του $\gamma_{jp}^{(i)}$ για τα σύνολα της δεύτερης εισόδου.
  - Όταν ο τελεστής είναι min τότε $\wedge=\min$, όταν είναι product τότε $\wedge=\times$.
- Δοθέντος ενός δεδομένου εισόδου $[u_1(k)\ \ u_2(k)\ \ \ldots u_m(k)]^T$, η *i*-στή συνιστώσα εξόδου $y_i(k)$ ολόκληρου του ασαφούς συστήματος εξάγεται με χρήση της *μεθόδου αποασαφοποίησης του σταθμισμένου μέσου* (weighted average defuzzification method):

$$y_i(k)=\frac{\sum_{j=1}^{n}\mu_j(k)\cdot g_j^{(i)}(k)}{\sum_{j=1}^{n}\mu_i(k)},\ i=1,\ldots,r$$ και *n* ο αριθμός των κανόνων

  - Οι $[y_1(k)\ \ y_2(k)\ \ \ldots y_r(k)]^T$ είναι οι έξοδοι του ασαφούς μοντέλου και οι $[z_1(k)\ \ z_2(k)\ \ \ldots z_r(k)]^T$ είναι οι πραγματικές έξοδοι, με τις οποίες θα συγκριθούν οι προκύψασες $[y_1(k)\ \ y_2(k)\ \ \ldots y_r(k)]^T$.
- Οι $[w_{0j}^{(1)}, w_{1j}^{(1)}, \ldots, w_{mj}^{(1)}, w_{0j}^{(2)}, w_{1j}^{(2)}, \ldots, w_{mj}^{(2)}, \ldots, w_{0j}^{(2)}, w_{1j}^{(r)}, \ldots, w_{mj}^{(r)}]^T$ (εδώ απεικονίζονται για τον κανόνα *j* και για *r* εξόδους) είναι πολυωνυμικοί συντελεστές, οι οποίοι σχηματίζουν το σύνολο των παραμέτρων απόδοσης.
  - Όταν η αρχικοποίηση ορίζεται από το χρήστη, ανοίγουν edit boxes που ζητούν τιμές <u>ανά κανόνα και ανά έξοδο</u>, για κάθε ένα από τα τα βάρη *w* που αναφέρονται παραπάνω. Υπάρχει έλεγχος οι τιμές να μην βρίσκονται εκτός του διαστήματος [-1 1].
  - Όταν η αρχικοποίηση γίνεται με τυχαίες τιμές, τότε τρέχει κώδικας που τις αρχικοποιεί με τυχαίο τρόπο στο διάστημα [-1 1] ως εξής

w=2*(rand()/32767.0)-1;

1.6 Εκπαίδευση του ασαφούς μοντέλου με τη μέθοδο BACK PROPAGATION (για γκαουσιανές συναρτήσεις συμμετοχής)

- Σε κάθε επανάληψη εισέρχονται τα δεδομένα εισόδου $[u_1(k), u_2(k), ..., u_m(k)]^T$, $k = 1,2,...,k_f$ και υπολογίζονται οι έξοδοι $[y_1(k), y_2(k), ..., y_r(k)]^T$, $k = 1,2,...,k_f$.
- Ακολούθως υπολογίζεται η συνάρτηση σφάλματος, η οποία είναι ένα μέτρο του κατά πόσον προσεγγίζονται οι πραγματικές τιμές των εξόδων $[\hat{y}_1(k), \hat{y}_2(k), ..., \hat{y}_r(k)]^T$, $k = 1,2,...,k_f$, Ως συνάρτηση σφάλματος λαμβάνεται το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (Mean Squared Error, MSE):

$$E = \frac{1}{k_f} \sum_{k=1}^{k_f} [\sum_{l=1}^{r} (\hat{y}_l(k) - y_l(k))^2] \qquad (1.30)$$

Εάν το MSE είναι μικρότερο μίας προκαθορισμένης ακρίβειας (10^{-3}) η εκπαίδευση ολοκληρώνεται και το ασαφές μοντέλο είναι έτοιμο να λειτουργήσει. Αλλιώς προχωρούμε στην ***ενημέρωση των παραμέτρων*** ή ***διόρθωση των βαρών***. Τα βάρη χωρίζονται στα premise βάρη (m_{jp}, σ_{jp}, $j = 1,...,m$, $p = 1,...,n_j$)και τα consequent βάρη ($w_{ij}^{(l)}$, $i = 1,...,N$, $j = 1,...,m$, $l = 1,...,r$).

- Έστω *t* η τρέχουσα επανάληψη και *t-1* η προηγούμενη. Σε κάθε επανάληψη πρώτα υπολογίζονται οι μερικές παράγωγοι ως προς τα βάρη:

$$\frac{\partial E}{\partial m_{jp}} = -\frac{2}{k_f} \cdot \sum_{k=1}^{k_f} \sum_{l=1}^{r} \{(\hat{y}_l(k) - y_l(k)) \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^{N} \mu_i(k)} \cdot$$
$$\cdot \sum_{i=1}^{N} [(g_i^{(l)}(k) - y_l(k)) \cdot \frac{\mu_i(k) \cdot \gamma_{jp}^{(i)} \cdot \mu_{Ajp}(u_j(k)) \cdot (u_j(k) - m_{jp})}{\sigma_{jp}^2 \cdot \sum_{s=1}^{n_j} \gamma_{js}^{(i)} \cdot \mu_{Ajs}(u_j(k))}]\} \quad j = 1,...,m,\ p = 1,...,n_j \quad (1.31)$$

$$\frac{\partial E}{\partial \sigma_{jp}} = -\frac{2}{k_f} \cdot \sum_{k=1}^{k_f} \sum_{l=1}^{r} \{(\hat{y}_l(k) - y_l(k)) \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^{N} \mu_i(k)} \cdot$$
$$\cdot \sum_{i=1}^{N} [(g_i^{(l)}(k) - y_l(k)) \cdot \frac{\mu_i(k) \cdot \gamma_{jp}^{(i)} \cdot \mu_{Ajp}(u_j(k)) \cdot (u_j(k) - m_{jp})^2}{\sigma_{jp}^3 \cdot \sum_{s=1}^{n_j} \gamma_{js}^{(i)} \cdot \mu_{Ajs}(u_j(k))}]\} \quad j = 1,...,m,\ p = 1,...,n_j \quad (1.32)$$

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^{(l)}} = -\frac{2}{k_f} \cdot \sum_{k=1}^{k_f} \left\{ (\hat{y}_l(k) - y_l(k)) \cdot \frac{\mu_i(k)}{\sum_{s=1}^{N} \mu_s(k)} \right\} \text{εάν } j=0$$

$l = 1,...,r$, $i = 1,...,N$ (1.33α)

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ij}^{(l)}} = -\frac{2}{k_f} \cdot \sum_{k=1}^{k_f} \left\{ (\hat{y}_l(k) - y_l(k)) \cdot \frac{\mu_i(k)}{\sum_{s=1}^{N} \mu_s(k)} \cdot u_j(k) \right\} \quad \text{εάν } j=1,\ldots,m \qquad l = 1,\ldots,r\,,$$

$i = 1,\ldots,N$ (133β)

και μετά γίνεται η διόρθωση των βαρών:

$$m_{jp}(t) = m_{jp}(t-1) - n_p \cdot \frac{\partial E(t)}{\partial m_{jp}} \tag{1.34}$$

$$\sigma_{jp}(t) = \sigma_{jp}(t-1) - n_p \cdot \frac{\partial E(t)}{\partial \sigma_{jp}} \tag{1.35}$$

$$w_{ij}^{(l)}(t) = w_{ij}^{(l)}(t-1) - n_c \cdot \frac{\partial E(t)}{\partial w_{ij}^{(l)}} \tag{1.36}$$

όπου n_p, n_c είναι οι ***ρυθμοί εκμάθησης*** (learning rates) για τα premise και consequent βάρη, αντίστοιχα.

Το n_p <u>επιλέγεται</u> στο [0.01,0.2] και το n_c <u>επιλέγεται</u> στο [0.05,0.6].

Κεφάλαιο 2

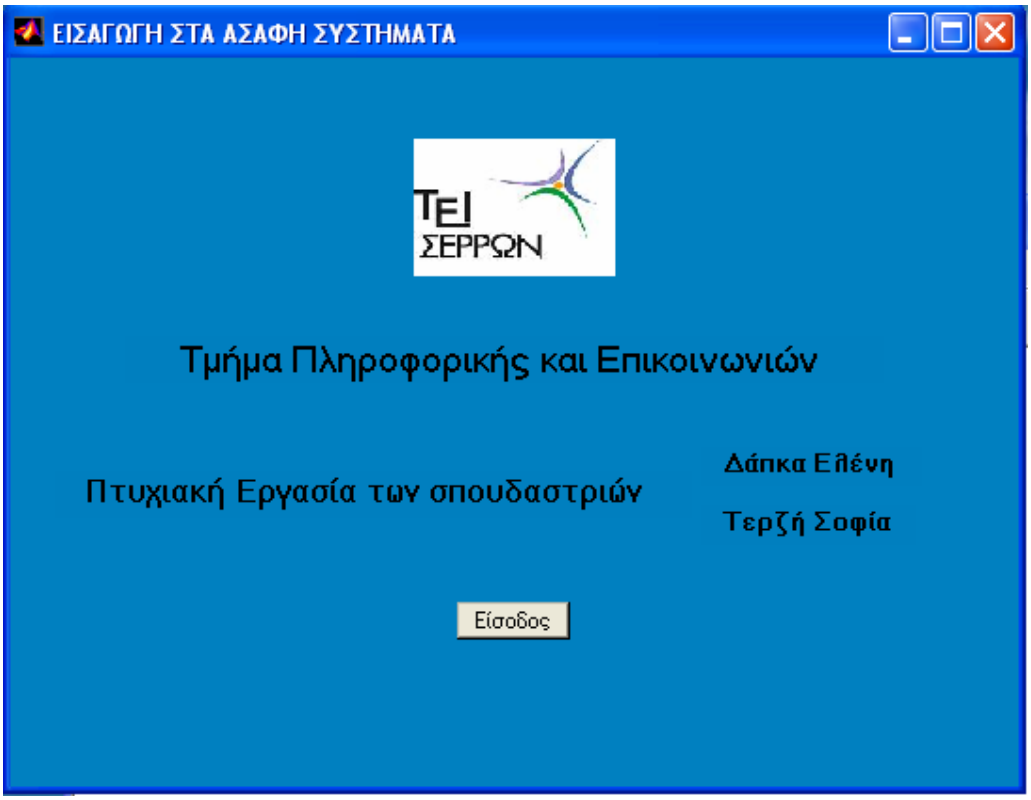
ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

2.1 Οδηγίες για την εκτέλεση της εφαρμογής GUI

Για την εκτέλεση του προγράμματός μας, απαιτείται να είναι εγκατεστημένο το πακέτο λογισμικού MATLAB και τα αρχεία της φόρμας εκκίνησης της εφαρμογής να βρίσκονται στο φάκελο 'work' (π.χ. C:\ MATLAB6p5\work).

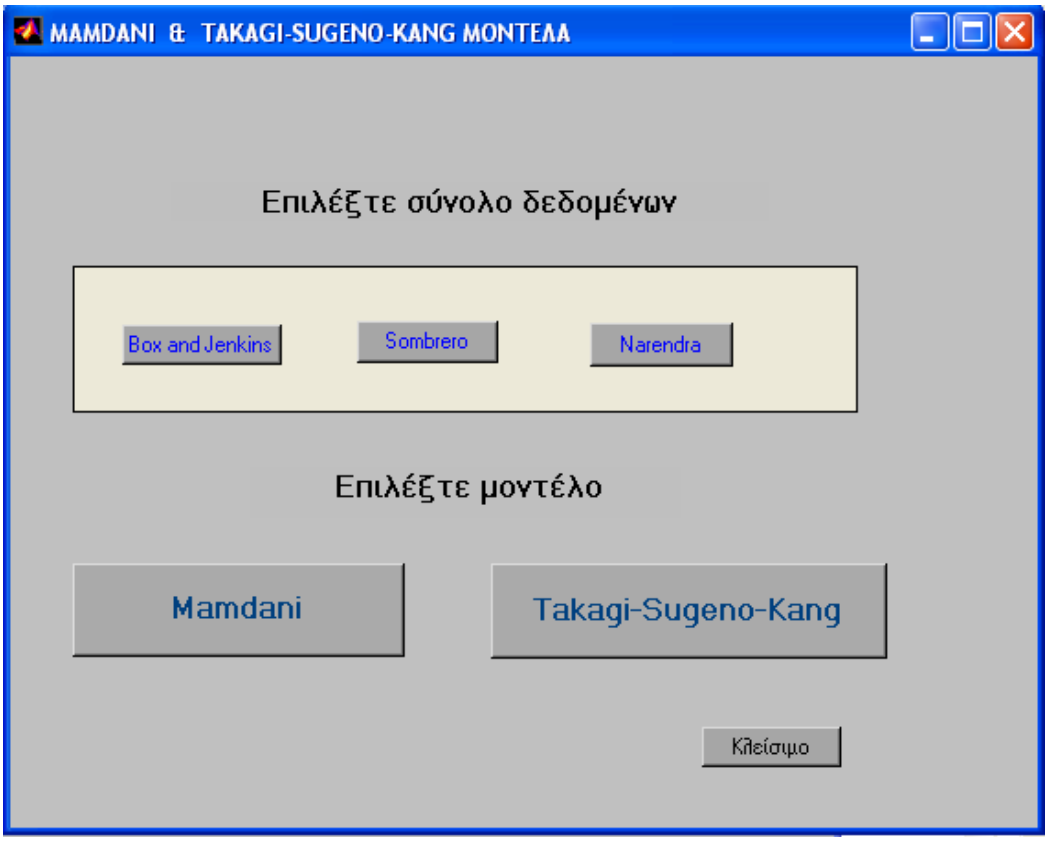
Για την εκκίνησης της εφαρμογής, ανοίγουμε το MATLAB και από τη γραμμή εντολών εκτελούμε την εντολή **fuzzy_logic** .

Γίνεται έναρξη του γραφικού περιβάλλοντος (GUI) της εφαρμογής του προγράμματός μας και εμφανίζεται το Σχήμα 1, το οποίο είναι μια εισαγωγή και παρουσιάζονται τα ονόματα των σπουδαστριών.



Σχήμα 1

Στη συνέχεια επιλέγουμε το πλήκτρο Είσοδος και μας εμφανίζεται το Σχήμα 2.

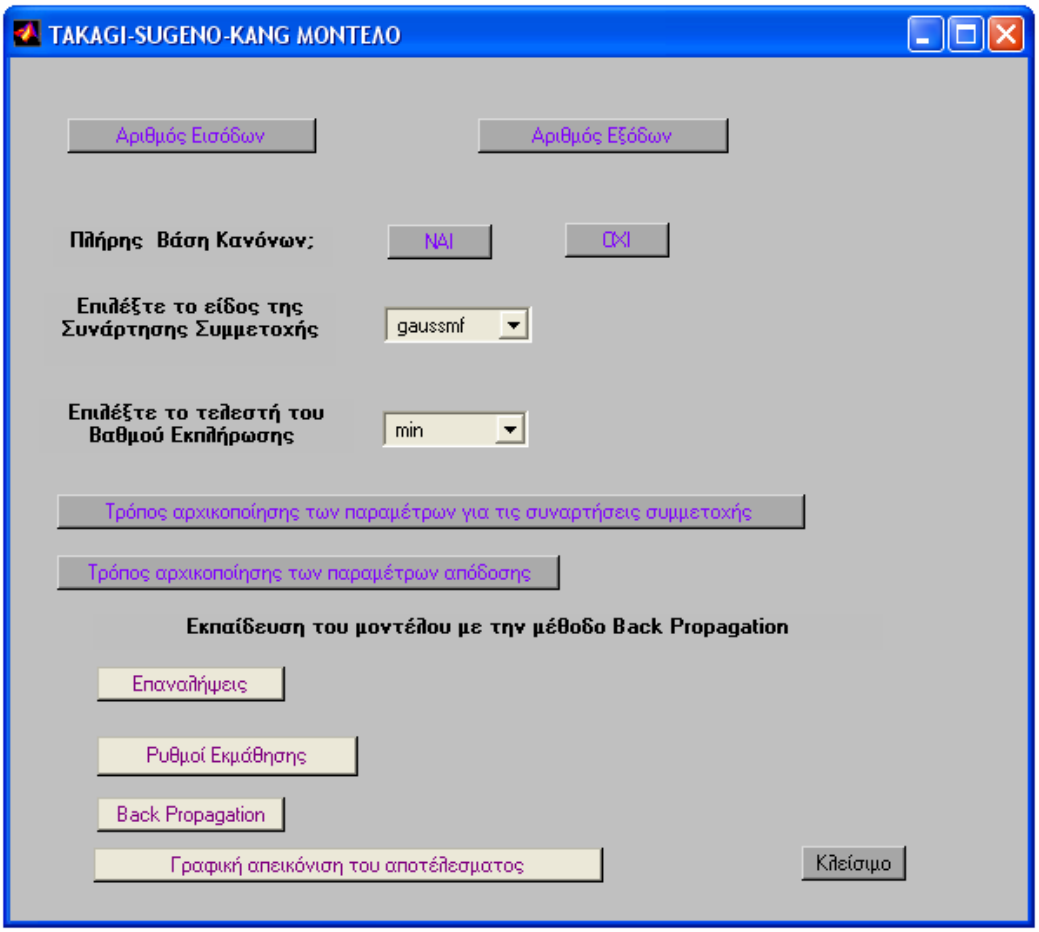


Σχήμα 2

Στο Σχήμα 2 ο χρήστης πρέπει να επιλέξει το σύνολο δεδομένων (Box and Jenkins, Sombrero, Narendra), που θα φορτωθεί στο πρόγραμμα, πατώντας το αντίστοιχο πλήκτρο Box and Jenkins , Sombrero ή Narendra . Στην περίπτωσή μας εξετάστηκαν τα σύνολα δεδομένων Box and Jenkins και Sombrero.

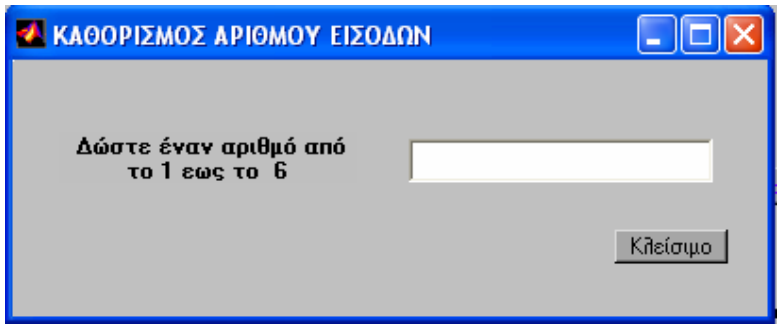
Επίσης, πρέπει να επιλέξει το μοντέλο Mamdani ή Takagi-Sugeno-Kang, πατώντας το πλήκτρο Mamdani ή Takagi-Sugeno-Kang .Εδώ εξετάστηκε το μοντέλο Takagi-Sugeno-Kang. Επιλέγοντας το μοντέλο Takagi-Sugeno-Kang εμφανίζεται η φόρμα του Σχήματος 3.

Το πλήκτρο Κλείσιμο κλείνει την φόρμα του Σχήματος 2.



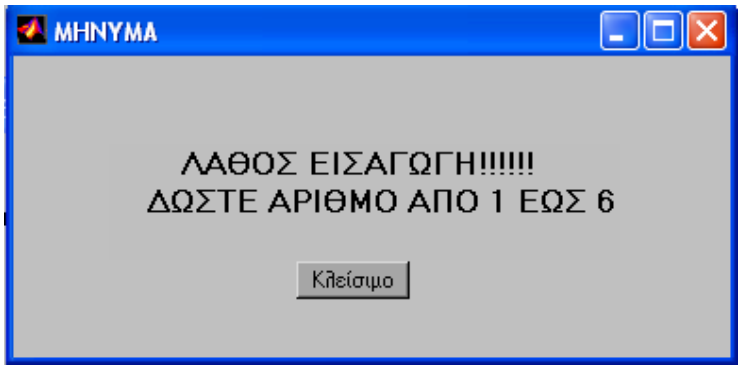
Σχήμα 3

Στο Σχήμα 3 ο χρήστης καλείται να προσδιορίσει τα χαρακτηριστικά του μοντέλου του. Στην αρχή επιλέγοντας το πλήκτρο Αριθμός Εισόδων εμφανίζεται το Σχήμα 4,



Σχήμα 4

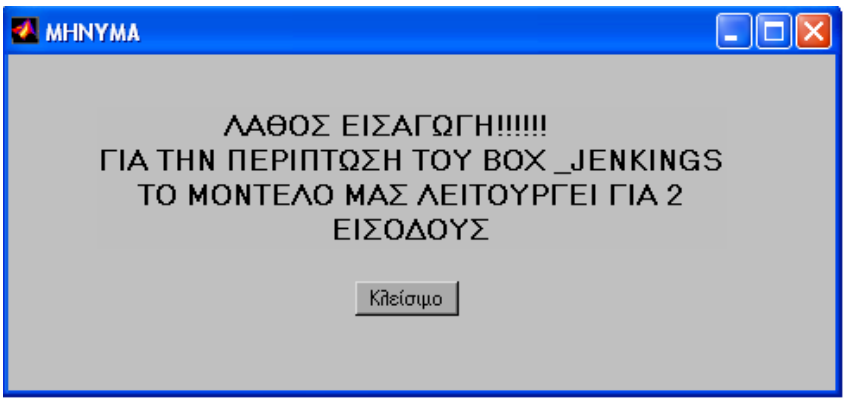
όπου ζητείται ο αριθμός των εισόδων, έχει προνοηθεί εάν ο χρήστης επιλέξει μεγαλύτερο αριθμό από 6 εισόδους να εμφανίζεται το ακόλουθο μήνυμα του Σχήματος 5 .



Σχήμα 5

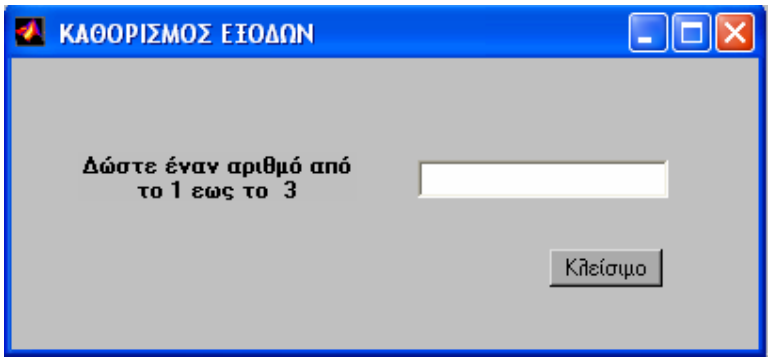
Στην περίπτωσή μας (Box and Jenkins) θα δίνουμε αριθμό εισόδων 2, γιατί με αυτόν τον τρόπο λειτουργούν τα αντίστοιχα σύνολα δεδομένων.Το πλήκτρο Κλείσιμο κλείνει την φόρμα του Σχήματος 5.

Σε διαφορετική περίπτωση που ο χρήστης δε δώσει αριθμό εισόδων ίσο με 2 τότε βγαίνει το μήνυμα που φαίνεται στο Σχήμα 6 και τον ενημερώνει ότι για το σύνολο δεδομένων Box_Jenkins λειτουργεί μόνο με αριθμό εισόδων 2.



Σχήμα 6

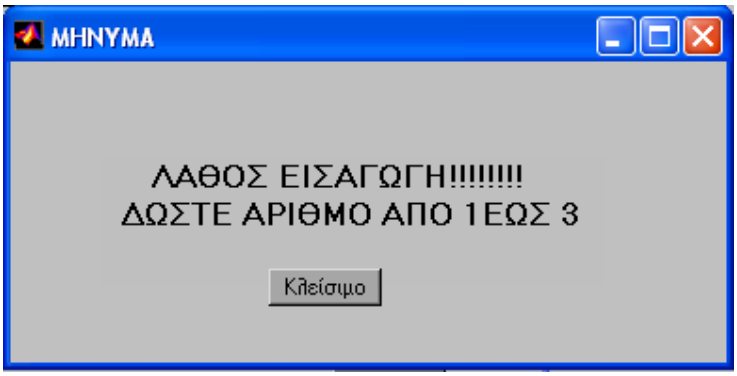
Στη συνέχεια ο χρήστης επιλέγει το πλήκτρο Αριθμός Εξόδων και εμφανίζεται το Σχήμα 7.



Σχήμα 7

Εδώ ο χρήστης πρέπει να καθορίσει τον αριθμό των εξόδων, σε περίπτωση που δοθεί αριθμός μεγαλύτερος του 3,τότε εμφανίζεται το μήνυμα του Σχήματος 8.

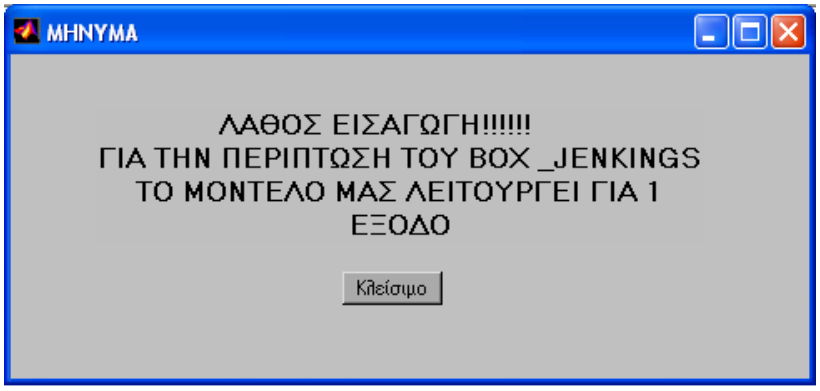
Το πλήκτρο Κλείσιμο κλείνει την φόρμα του Σχήματος 7.



Σχήμα 8

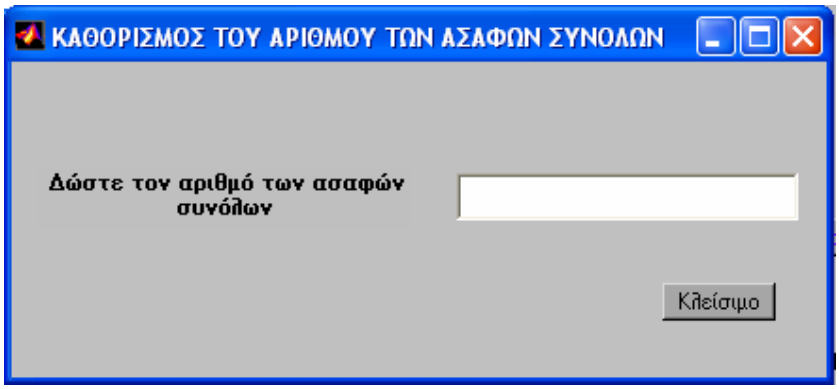
Στην περίπτωσή μας (Box and Jenkins) θα δίνουμε αριθμό εξόδων 1, γιατί με αυτόν τον τρόπο λειτουργεί το αντίστοιχο σύνολο δεδομένων. Διαφορετικά βγαίνει το μήνυμα που φαίνεται στο Σχήμα 9 το οποίο θα ενημερώνει τον χρήστη ότι το σύνολο δεδομένων Box_Jenkins λειτουργεί μόνο με αριθμό εξόδων 1.

Επιλέγοντας Κλείσιμο επιστρέφει στο Σχήμα 7 το οποίο μπορεί να κλείσει χωρίς να αποθηκευθεί η λάθος εισαγωγή.



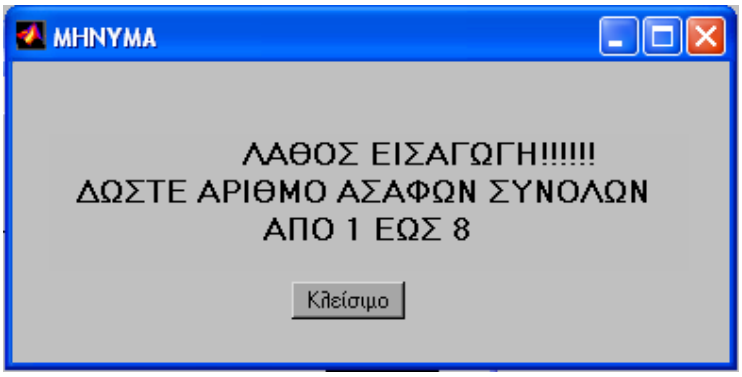
Σχήμα 9

Στη συνέχεια αν ο χρήστης επιλέξει ΝΑΙ με το πλήκτρο ΝΑΙ στο ερώτημα Πλήρης Βάση Κανόνων, τότε εμφανίζεται η φόρμα του Σχήματος 10.



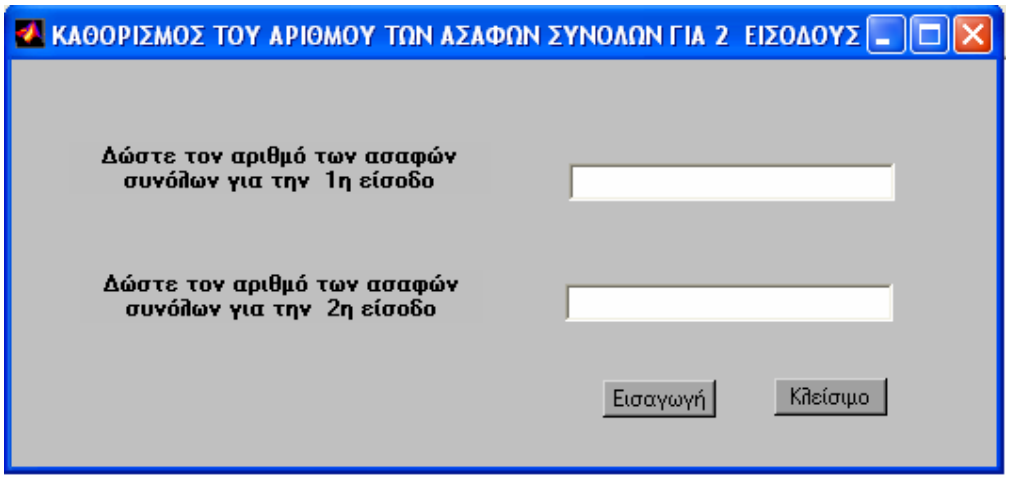
Σχήμα 10

Όπου ζητείται ο αριθμός των ασαφών για όλες τις εισόδους. Υπάρχει περιορισμός στον αριθμό των ασαφών συνόλων ο χρήστης μπορεί να δώσει μέχρι 8 ασαφή σύνολα. Όταν επιλεχθεί το πλήκτρο Κλείσιμο, τότε καταχωρείται ο αριθμός και κλείνει η φόρμα. Αν δοθεί μεγαλύτερος αριθμός εμφανίζεται το μήνυμα του Σχήματος 11. Επιλέγοντας Κλείσιμο επιστρέφει στο Σχήμα 10 στο οποίο μπορεί να δώσει κάποιον άλλο αριθμό χωρίς να αποθηκευθεί η λάθος εισαγωγή.



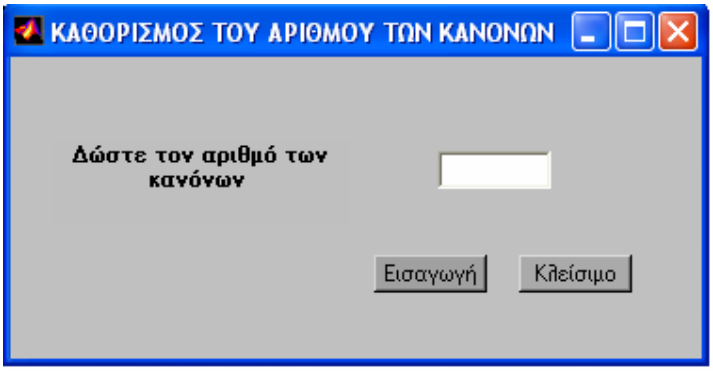
Σχήμα 11

Στην περίπτωση που ο χρήστης επιλέξει ΟΧΙ, με το αντίστοιχο πλήκτρο ΟΧΙ , στο ερώτημα Πλήρης Βάση Κανόνων, τότε εμφανίζεται η φόρμα του Σχήματος 12.



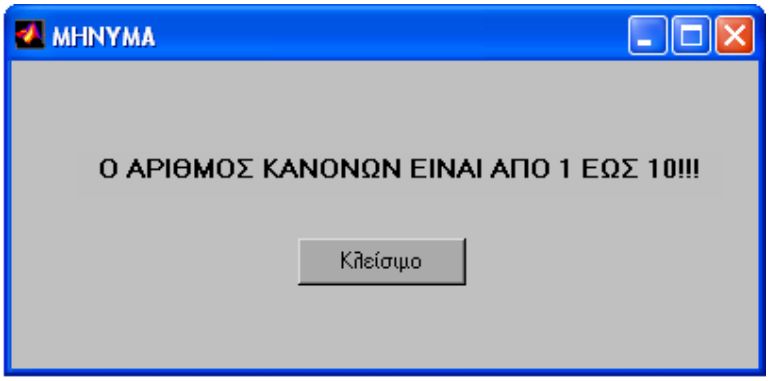
Σχήμα 12

Όπου δίνει αριθμό ασαφών συνόλων για κάθε είσοδο, στην περίπτωσή μας έχουμε 2 εισόδους και για αυτό θα δώσουμε ένα αριθμό ασαφών συνόλων για την πρώτη είσοδο και ένα αριθμό ασαφών συνόλων για την δεύτερη είσοδο. Όταν επιλεχθεί το πλήκτρο Εισαγωγή, τότε καταχωρούνται οι αριθμοί. Σε περίπτωση που δοθεί αριθμός ασαφών συνόλων μεγαλύτερο του 8 τότε εμφανίζεται το Σχήμα 11. Επιλέγοντας το πλήκτρο Κλείσιμο κλείνει η φόρμα και εμφανίζεται το Σχήμα 13.



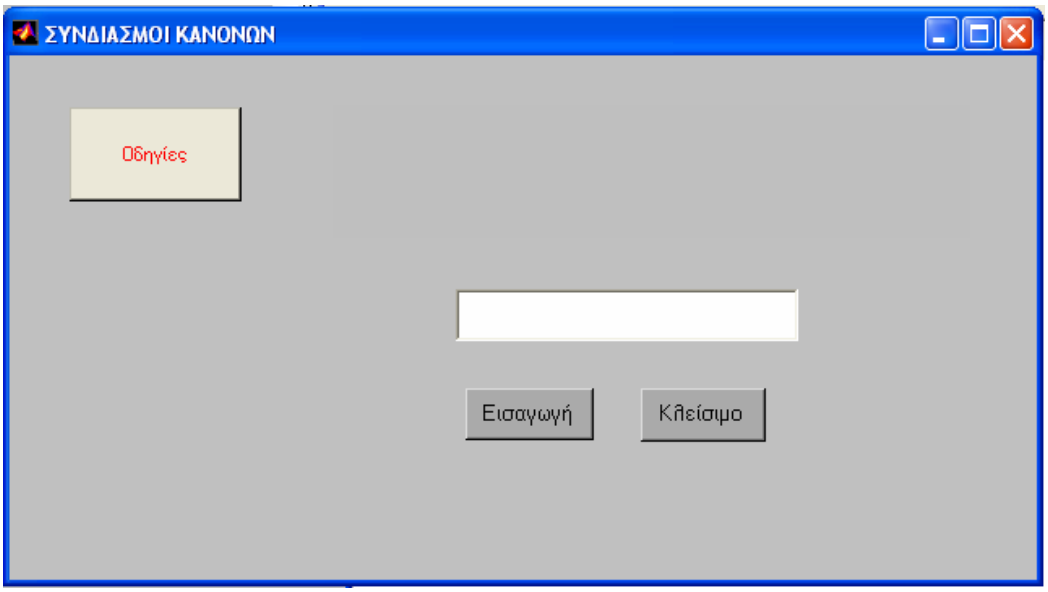
Σχήμα 13

Εδώ ζητείται από τον χρήστη να καθορίσει των αριθμό των κανόνων. Σε περίπτωση που ο χρήστης δώσει αριθμό κανόνων μεγαλύτερο του 10 έχει προνοηθεί να εμφανίζεται το παρακάτω μήνυμα του Σχήματος 14, το οποίο τον ενημερώνει και έτσι έχει την ευκαιρία να ξαναδώσει έναν αριθμό κανόνων μικρότερο του 10 αυτή τη φορά.



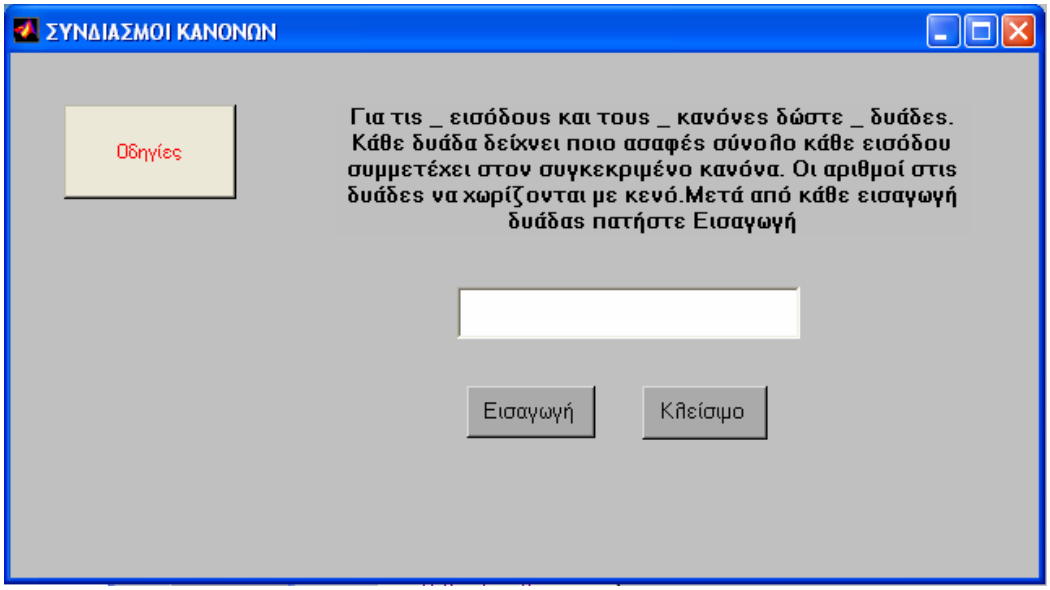
Σχήμα 14

Επιλέγει το πλήκτρο Κλείσιμο καταχωρεί την νέα τιμή, επιλέγει να κλείσει η φόρμα του Σχήματος 13 και μετά ανοίγει η φόρμα του Σχήματος 15.



Σχήμα 15

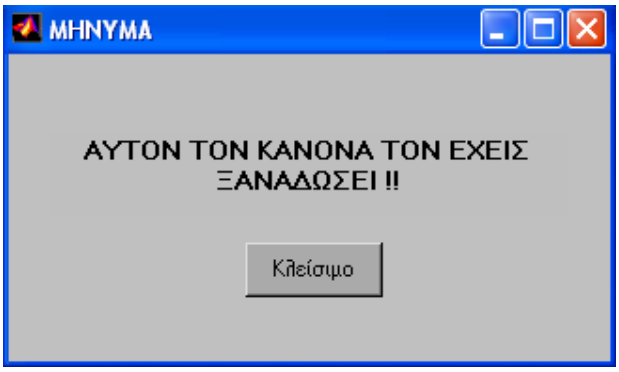
Εδώ δίνονται οι συνδυασμοί των ασαφών που δημιουργούν τους κανόνες. Για την διευκόλυνση του χρήστη υπάρχει το πλήκτρο Οδηγίες , το οποίο διευκρινίζει πόσους συνδυασμούς ασαφών να δώσει. Όταν πατηθεί το παραπάνω πλήκτρο εμφανίζεται το Σχήμα 16, στο οποίο φαίνεται ανάλογα με τις εισόδους και τους κανόνες, πόσες δυάδες πρέπει να καταχωρήσει ο χρήστης



Σχήμα 16

Επιλέγοντας το πλήκτρο Εισαγωγή , γίνεται η καταχώρηση των αντίστοιχων συνδυασμών ασαφών. Στην περίπτωση που δοθεί ο ίδιος συνδυασμός ασαφών εμφανίζεται το μήνυμα του Σχήματος 17 που προειδοποιεί τον χρήστη ότι έδωσε τον ίδιο συνδυασμό. Επιλέγοντας Κλείσιμο επιστρέφει στο Σχήμα 16, στο οποίο μπορεί να καταχωρίσει μια άλλη εισαγωγή χωρίς να αποθηκευθεί η λάθος εισαγωγή.

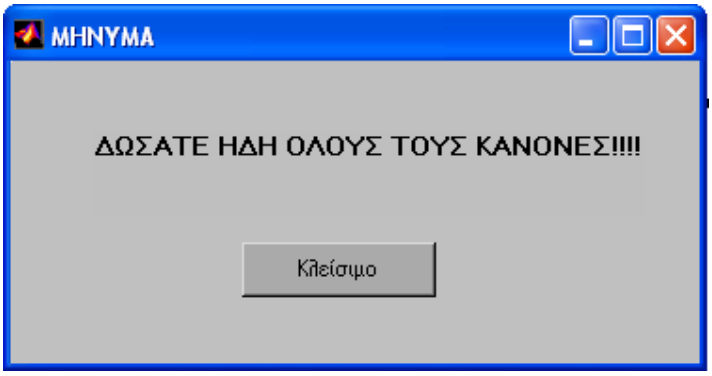
Το πλήκτρο Κλείσιμο κλείνει την φόρμα του Σχήματος 16



Σχήμα 17

Το πλήκτρο Κλείσιμο κλείνει την φόρμα του Σχήματος 17

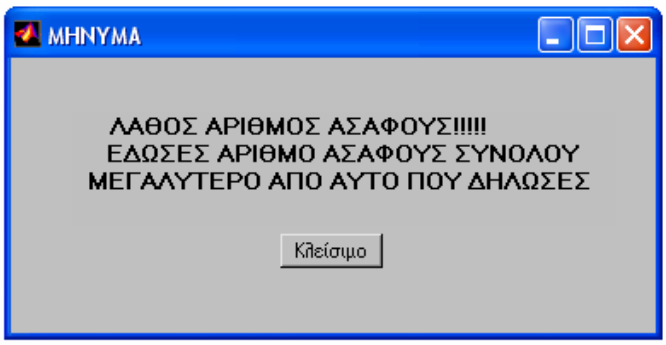
Ενώ αν δοθεί παραπάνω συνδυασμός εμφανίζεται το μήνυμα του Σχήματος 18



Σχήμα 18

Το πλήκτρο Κλείσιμο κλείνει την φόρμα του Σχήματος 18.

Επιπλέον στην περίπτωση που ο χρήστης δώσει στον συνδιασμό κανόνων αριθμό ασαφούς συνόλου μεγαλύτερο από αυτό που δήλωσε, τότε εμφανίζεται το παρακάτω μήνυμα του Σχήματος 19.

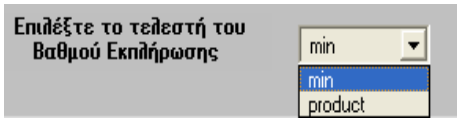


Σχήμα 19

Επιλέγοντας Κλείσιμο ο χρήστης επιστρέφει στη φόρμα του Σχήματος 16 για να δώσει νέο συνδιασμό.

Στη συνέχεια ο χρήστης καλείται να επιλέξει το είδος της συνάρτησης συμμετοχής, στο Σχήμα 20α.

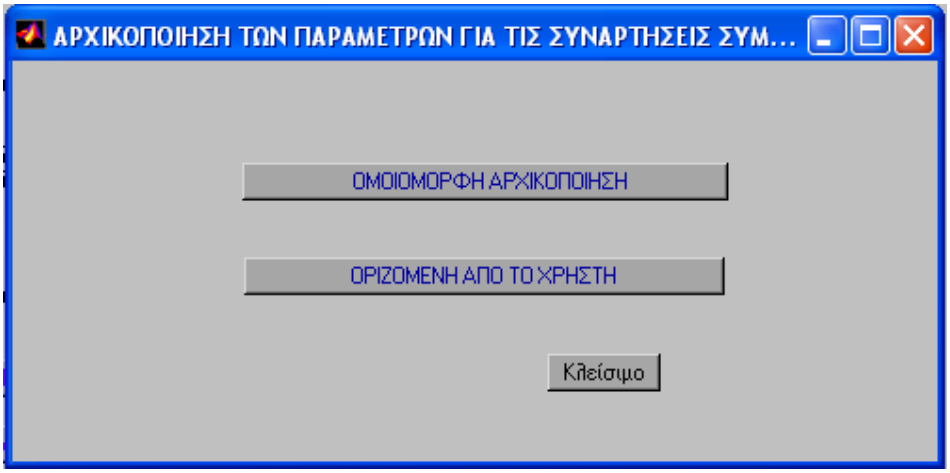
Σχήμα 20α



Σχήμα 20β

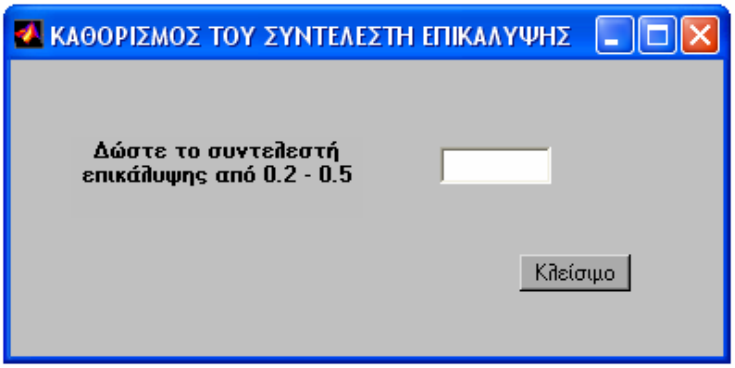
Στο αναδυόμενο μενού (popup menu) δίνονται 2 επιλογές στον χρήστη είτε να επιλέξει γκαουσιανή (gaussmf) ή τριγωνική (trimf) συνάρτηση συμμετοχής. Μπορεί και να αφήσει την προεπιλεγμένη τιμή (default). Κατόπιν, στο Σχήμα 20β πρέπει να επιλεχθεί ο τελεστής του βαθμού εκπλήρωσης από το αναδυόμενο μενού (popup menou), όπου δίνονται 2 επιλογές στον χρήστη είτε να επιλέξει min (ελάχιστο) είτε product (γινόμενο). Μπορεί και να αφήσει την προεπιλεγμένη τιμή (default).

Στη συνέχεια επιλέγοντας το πλήκτρο Τρόπος αρχικοποίησης των παραμέτρων για τις συναρτήσεις συμμετοχής , εμφανίζεται το Σχήμα 21. Το πλήκτρο Κλείσιμο κλείνει την φόρμα του Σχήματος 21



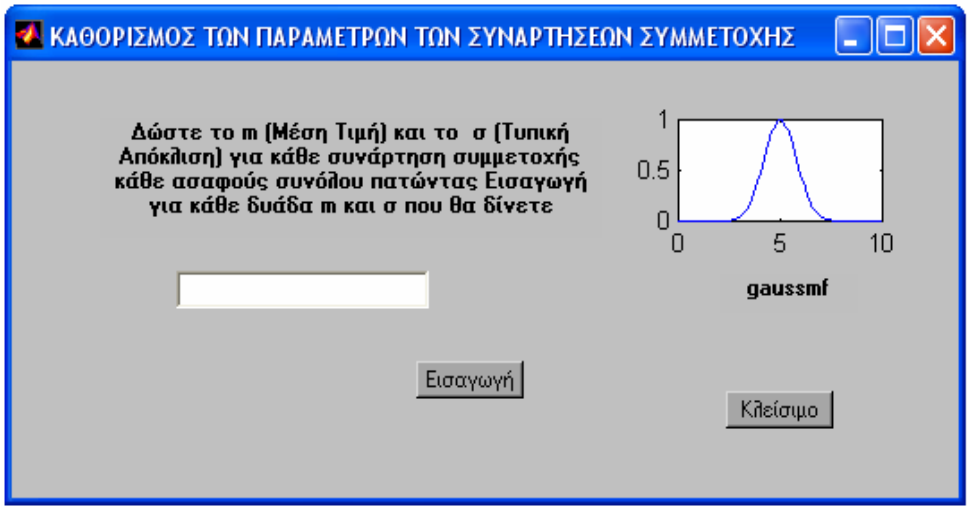
Σχήμα 21

Αν ο χρήστης επιλέξει ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ ΑΡΧΙΚΟΠΟΙΗΣΗ τότε εμφανίζεται η φόρμα του Σχήματος 22, στην οποία ζητείται να καθοριστεί ο συντελεστής επικάλυψης μέσα στα απαιτούμενα όρια. Επιλέγοντας Κλείσιμο το πρόγραμμα υπολογίζει τις παραμέτρους των συναρτήσεων συμμετοχής που θα έχει κάθε ασαφές σύνολο.



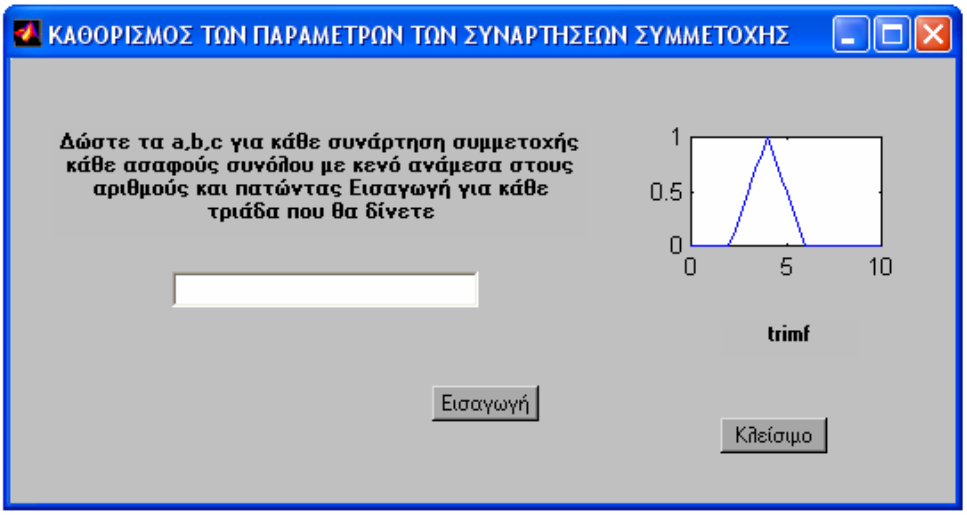
Σχήμα 22

Αν επιλέξει ΟΡΙΖΟΜΕΝΗ ΑΠΟ ΤΟ ΧΡΗΣΤΗ αρχικοποίηση τότε, ανάλογα με το είδος της συνάρτησης συμμετοχής, που έχει επιλέξει προηγουμένως, εμφανίζεται η φόρμα του Σχήματος 23 (αν ο χρήστης επιλέξει gaussmf)



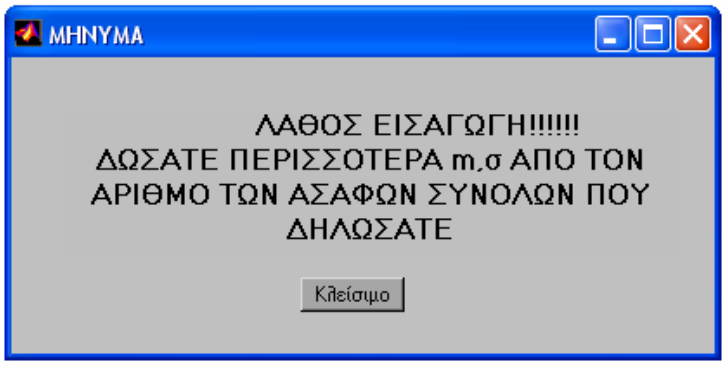
Σχήμα 23

ή η φόρμα του Σχήματος 24(αν ο χρήστης επιλέξει trimf)



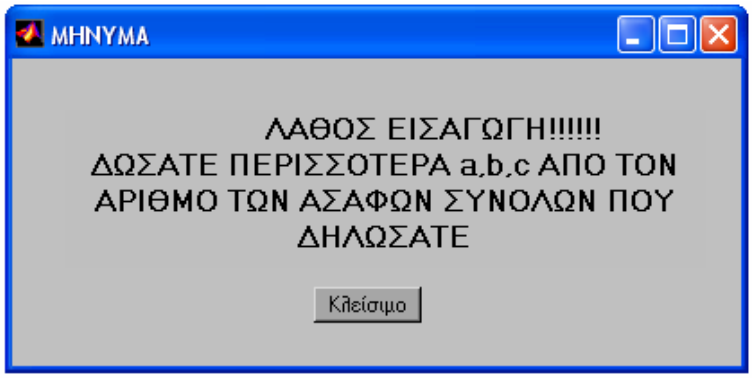
Σχήμα 24

Στις περιπτώσεις αυτές ο χρήστης καθορίζει τις παραμέτρους των συναρτήσεων συμμετοχής για κάθε ασαφές σύνολο, πατώντας Εισαγωγή για κάθε συνδυασμό που θα δίνει. Αν ο χρήστης δώσει περισσότερους παραμέτρους από τον αριθμό των ασαφών συνόλων που έχει ορίσει, τότε ανάλογα με το είδος της συνάρτησης που επίλεξε αρχικά, εμφανίζεται το ακόλουθο μήνυμα



Σχήμα 25

για την περίπτωση που επίλεξε gaussmf συνάρτηση συμμετοχής ή

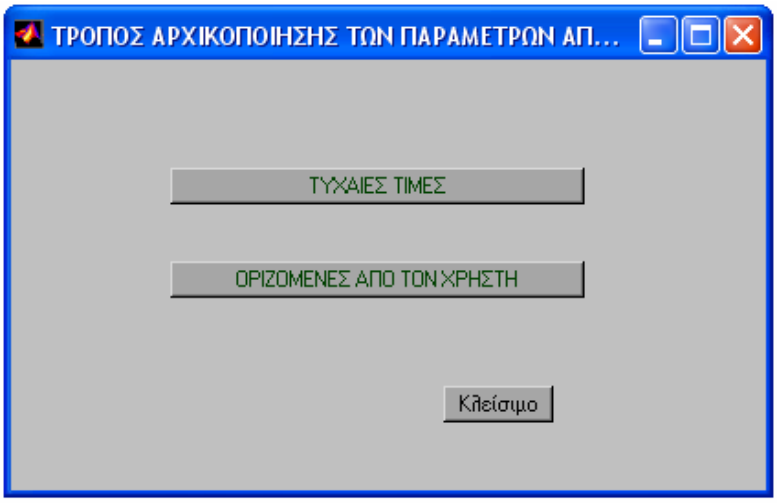


Σχήμα 26

για την περίπτωση που επίλεξε trimf συνάρτηση συμμετοχής. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις ο χρήστης μπορεί να επιλέξει Κλείσιμο, για να κλείσει το παράθυρο διαλόγου, και να μην αποθηκευθεί η επιπλέον καταχώρηση.

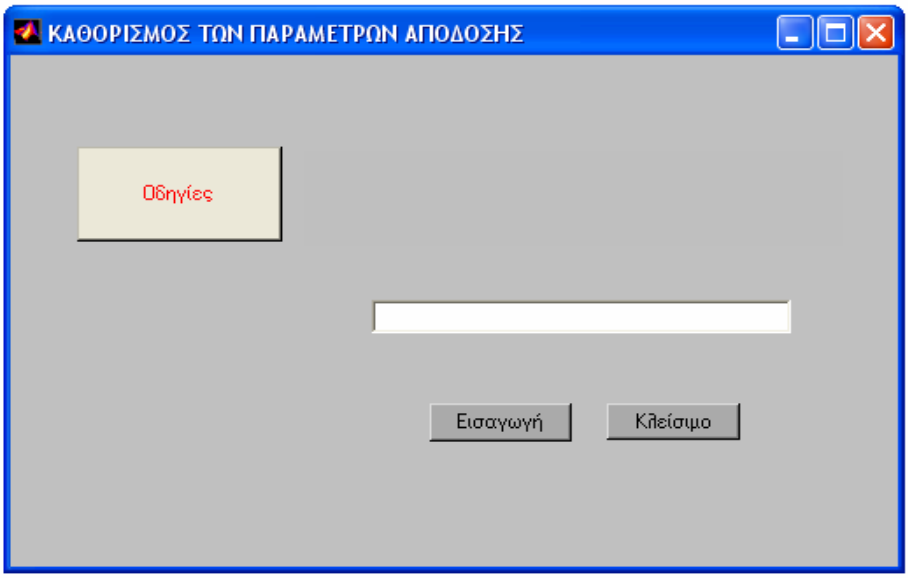
Μόλις ο χρήστης ολοκληρώσει τον Τρόπος αρχικοποίησης των παραμέτρων για τις συναρτήσεις συμμετοχής προχωρά στο επόμενο βήμα που είναι ο Τρόπος αρχικοποίησης των παραμέτρων απόδοσης.

Στην περίπτωση αυτή εμφανίζεται η φόρμα του Σχήματος 27



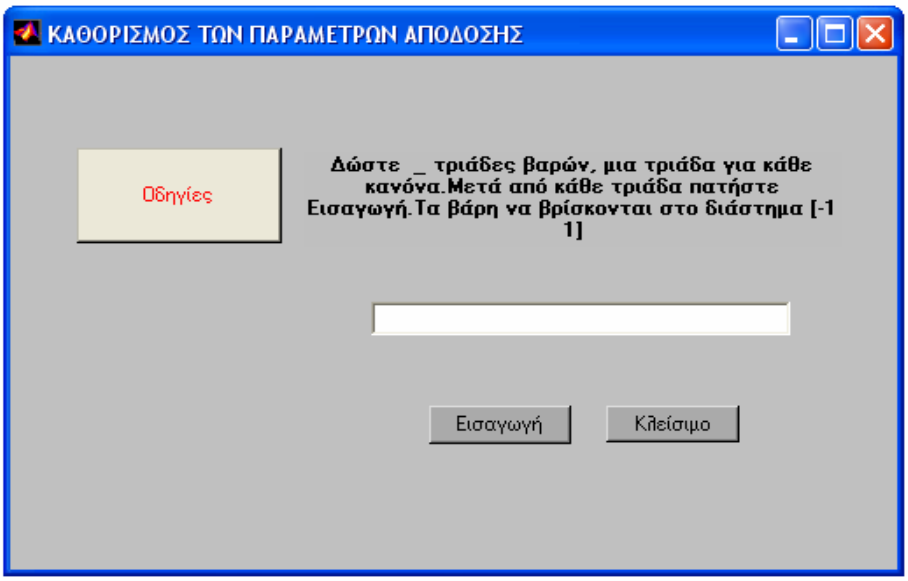
Σχήμα 27

Εδώ ο χρήστης έχει δύο επιλογές. Αν επιλέξει ΤΥΧΑΙΕΣ ΤΙΜΕΣ τότε το πρόγραμμα υπολογίζει, με την χρήση της εντολής rand, τις παραμέτρους απόδοσης. Αν επιλέξει ΟΡΙΖΟΜΕΝΕΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΧΡΗΣΤΗ τότε εμφανίζεται το Σχήμα 28



Σχήμα 28

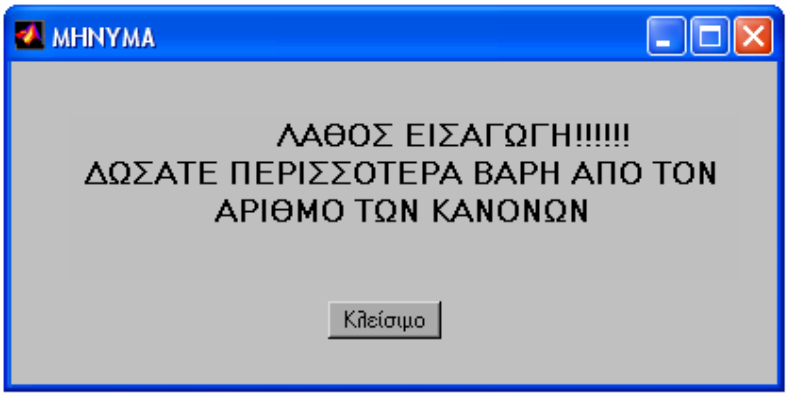
Στην περίπτωση αυτή ζητείται από τον χρήστη να καθορίσει τα βάρη κάθε κανόνα. Επιλέγοντας το πλήκτρο Οδηγίες εμφανίζεται το Σχήμα 29



Σχήμα 29

Στο σχήμα αυτό ,σύμφωνα με τον αριθμό των εισόδων και τον αριθμό των κανόνων που έχει καθορίσει ο χρήστης, δίνονται διευκρινήσεις σχετικά με τον αριθμό των παραμέτρων απόδοσης που πρέπει να καταχωρήσει. Πατώντας Εισαγωγή καταχωρείται κάθε φορά ο εκάστοτε συνδυασμός.

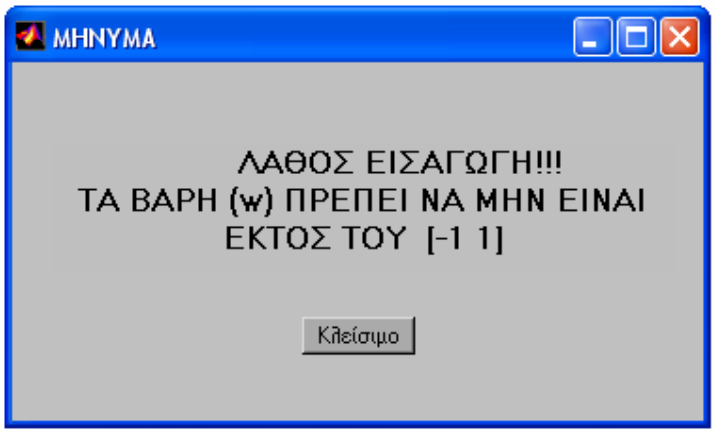
Στην περίπτωση που καταχωρηθούν περισσότεροι παράμετροι εμφανίζεται το Σχήμα 30



Σχήμα 30

όπου ο χρήστης ενημερώνεται για το λάθος. Επιλέγοντας Κλείσιμο επιστρέφει στο σχήμα 29 το οποίο μπορεί να κλείσει χωρίς να αποθηκευθεί η λάθος εισαγωγή.

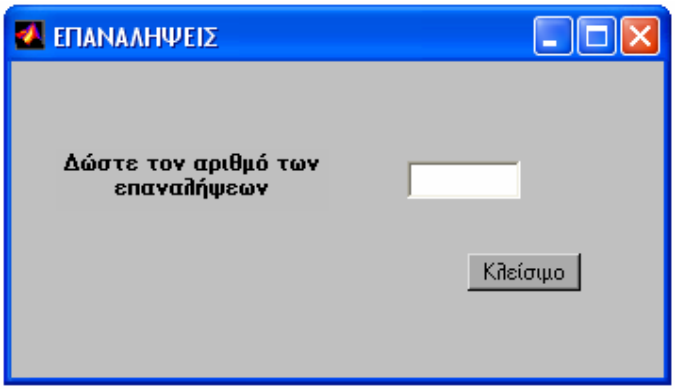
Αν οι παράμετροι που θα καταχωρήσει ο χρήστης είναι εκτός του διαστήματος [-1 1] τότε εμφανίζεται το μήνυμα του Σχήματος 31



Σχήμα 31

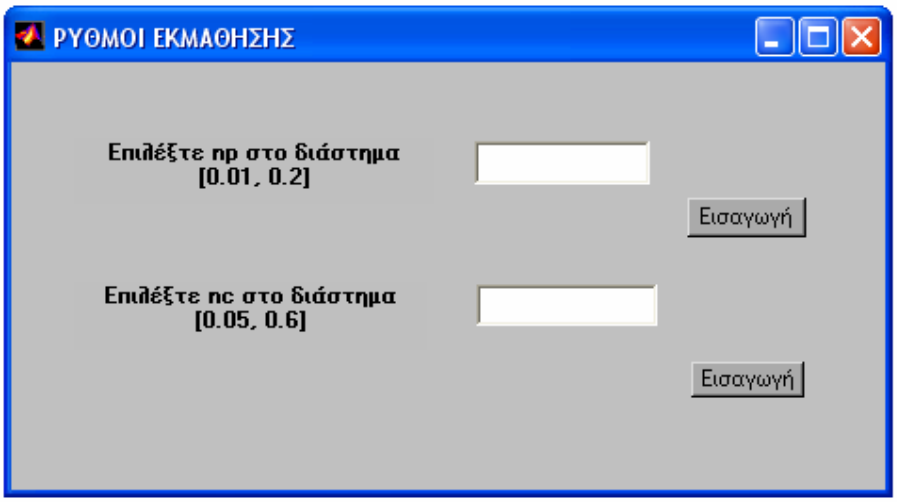
Επιλέγοντας Κλείσιμο ο χρήστης επιστρέφει στο Σχήμα 29 για να διορθώσει το λάθος και να αποθηκεύσει την καταχώρηση του.

Μέχρι το σημείο αυτό έχουν προσδιοριστεί τα χαρακτηριστικά που θα έχει το μοντέλο Takagi-Sugeno-Kang , στη συνέχεια ακολουθεί η εκπαίδευση του μοντέλου με την μέθοδο Back Propagation.Για την πραγματοποίηση της εκπαίδευσης απαιτείται να καθοριστεί ο αριθμός των επαναλήψεων οπότε επιλέγοντας το πλήκτρο Επαναλήψεις εμφανίζεται το Σχήμα 32.



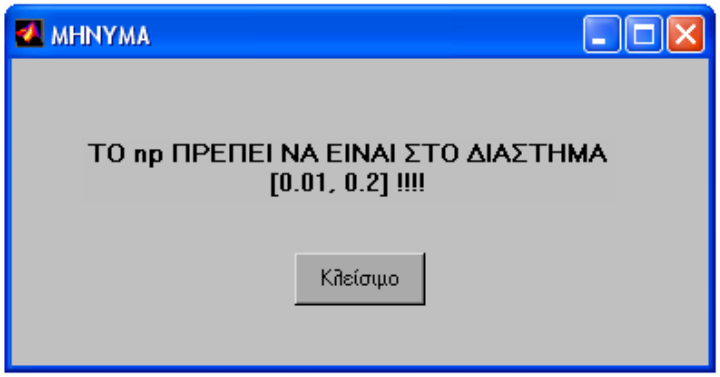
Σχήμα 32

Επιλέγοντας Κλείσιμο αποθηκεύεται ο αριθμός των επαναλήψεων και κλείνει το παράθυρο διαλόγου. Επιπλέον απαιτείται να καθοριστούν και οι ρυθμοί εκμάθησης οπότε επιλέγοντας το πλήκτρο Ρυθμοί Εκμάθησης εμφανίζεται το Σχήμα 33.



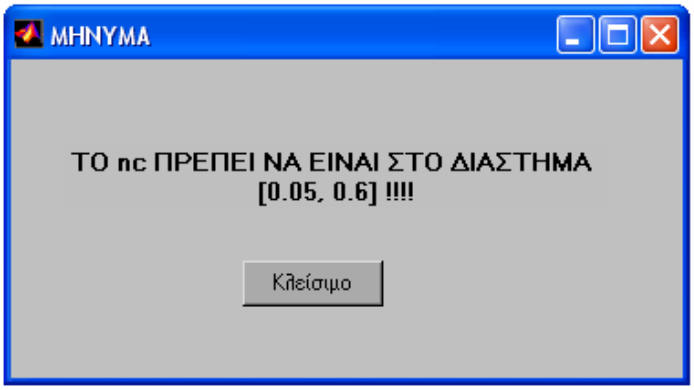
Σχήμα 33

Εδώ ο χρήστης δίνει το np μέσα στο προβλεπόμενο διάστημα και επιλέγει Εισαγωγή για να γίνει η καταχώρηση. Αν η επιλογή του είναι εκτός του συγκεκριμένου διαστήματος τότε εμφανίζεται το μήνυμα του Σχήματος 34



Σχήμα 34

Επιλέγοντας Κλείσιμο επιστρέφει στο Σχήμα 33 για δώσει νέα καταχώρηση. Στη συνέχεια πρέπει να δώσει το nc, μέσα στο προβλεπόμενο διάστημα , και να επιλέξει Εισαγωγή για να αποθηκευθεί η καταχώρηση και να κλείσει το παράθυρο διαλόγου. Και στην περίπτωση αυτή αν η επιλογή του είναι εκτός του συγκεκριμένου διαστήματος τότε εμφανίζεται το μήνυμα του Σχήματος 35.

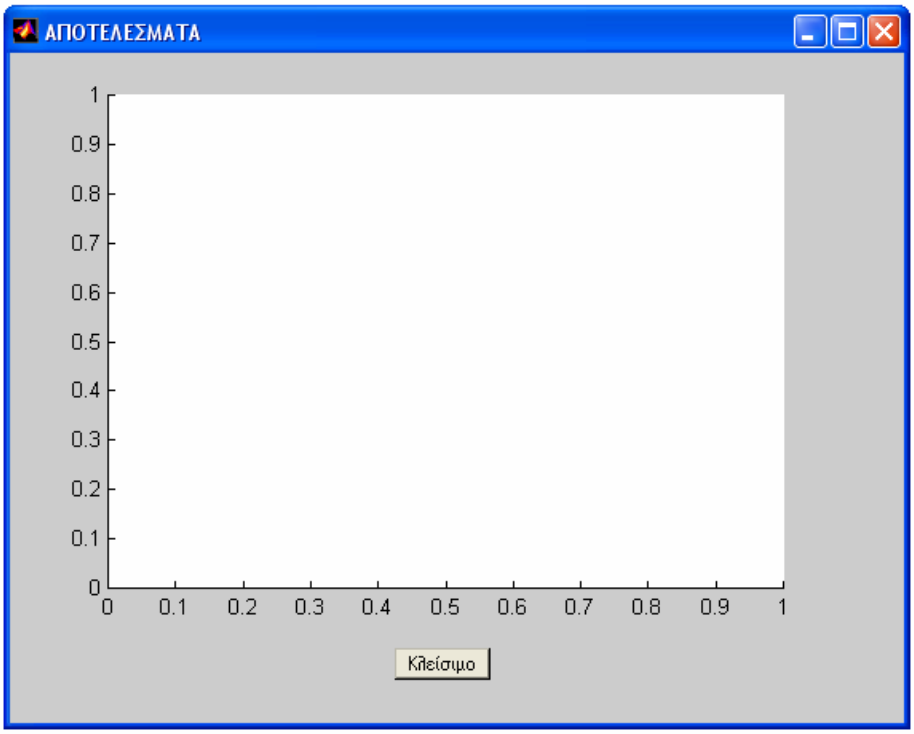


Σχήμα 35

Επιλέγοντας Κλείσιμο επιστρέφει στο Σχήμα 33 για δώσει διορθωμένη τιμή στο nc και να κλείσει το παράθυρο διαλόγου.

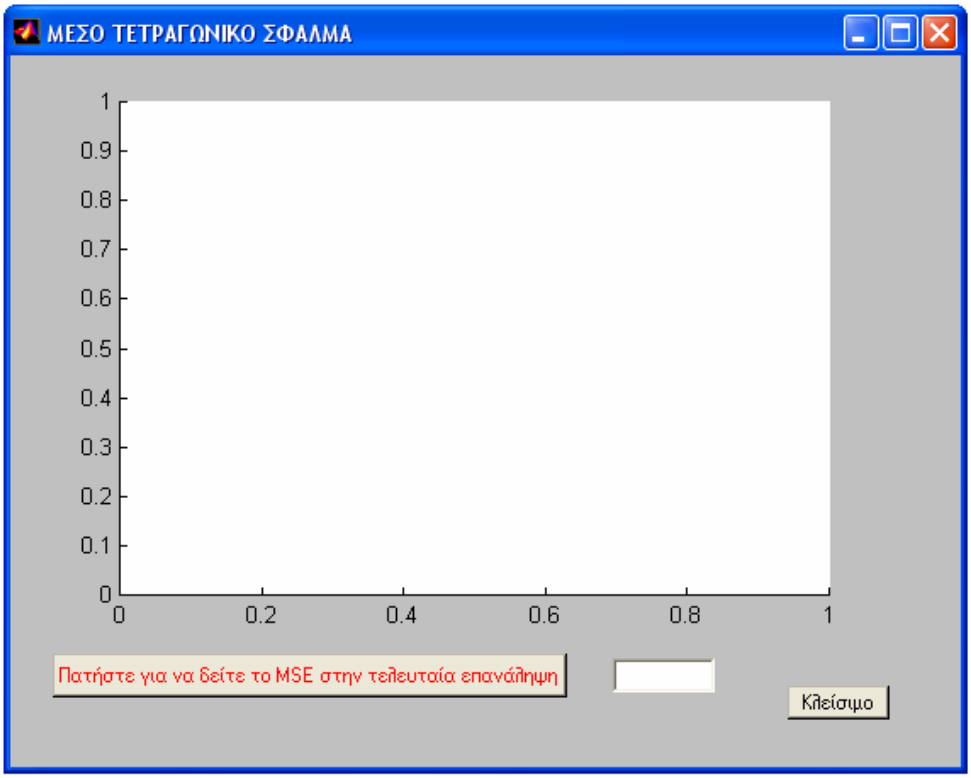
Το επόμενο βήμα είναι η εκπαίδευση του μοντέλου η οποία ξεκινά με την επιλογή του πλήκτρου Back Propagation .

Με την ολοκλήρωση της εκπαίδευσης ακολουθεί η Γραφική απεικόνιση του αποτέλεσματος . Στην περίπτωσή μας που το σύνολο δεδομένων είναι το Box and Jenkins εμφανίζεται το Σχήμα 36



Σχήμα 36

Εδώ ο χρήστης θα δει μια γραφική απεικόνιση των θεωρητικών και πειραματικών εξόδων. Επιλέγοντας Κλείσιμο κλείνει το συγκεκριμένο γράφημα και εμφανίζεται το Σχήμα 37.



Σχήμα 37

Εδώ ο χρήστης μπορεί να δει την γραφική απεικόνιση του μέσου τετραγωνικού σφάλματος σε κάθε επανάληψη. Επιπλέον πατώντας το πλήκτρο Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη μπορεί να δει, στο διπλανό edit box, πόσο είναι το σφάλμα στην τελευταία επανάληψη. Πατώντας Κλείσιμο κλείνει το παράθυρο διαλόγου.

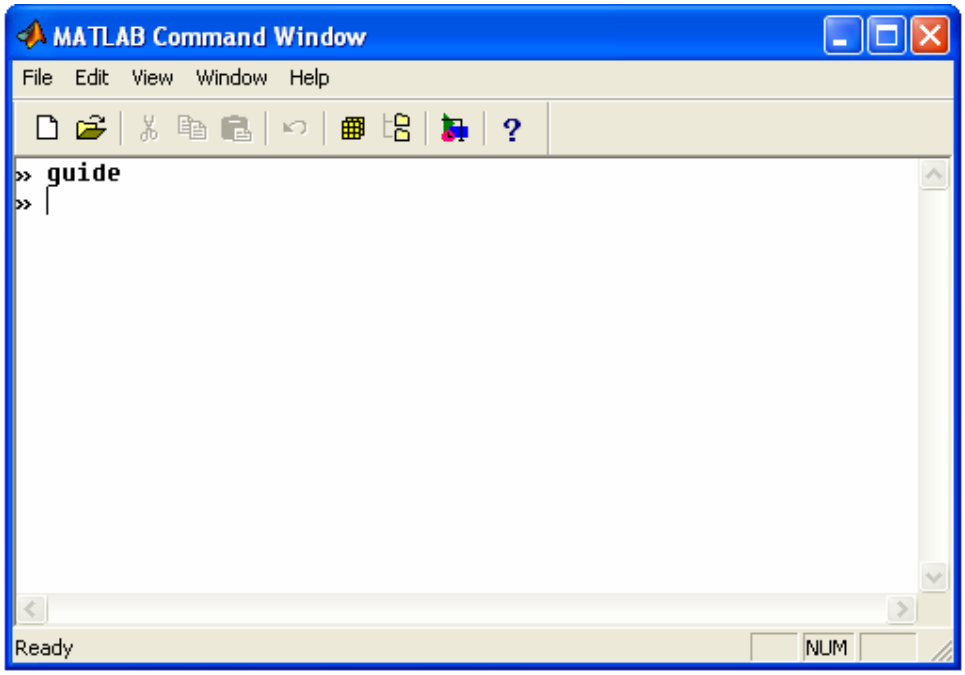
.

Κεφάλαιο 3

ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΚΩΔΙΚΑ

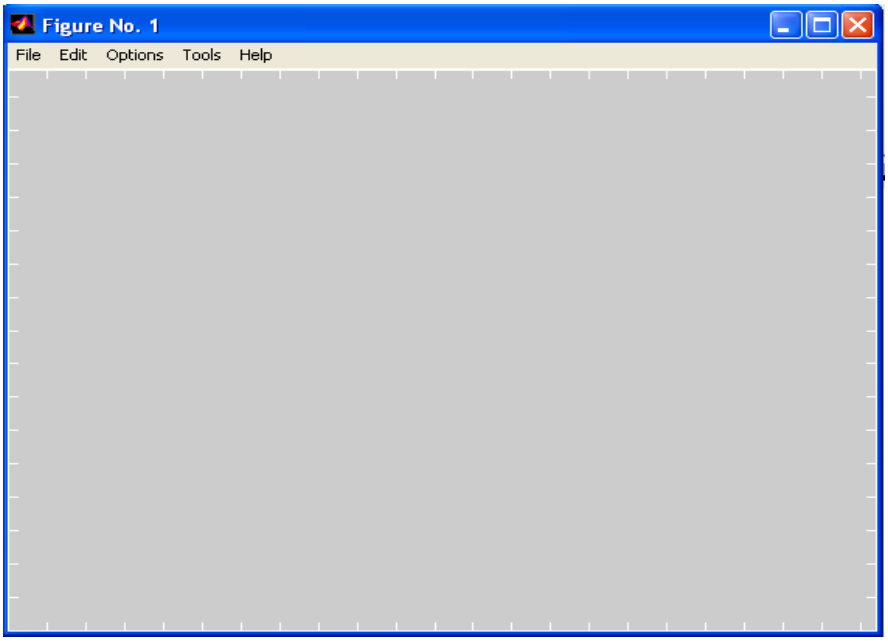
3.1 Grafical User Interface Designer (guide)

Οι φόρμες που δημιουργήθηκαν στο 2ο κεφάλαιο δημιουργήθηκαν με την εντολή guide. Στο περιβάλλον εργασίας του Matlab (Σχήμα 1, Command window του Matlab), πληκτρολογούμε την εντολή guide.



Σχήμα 1

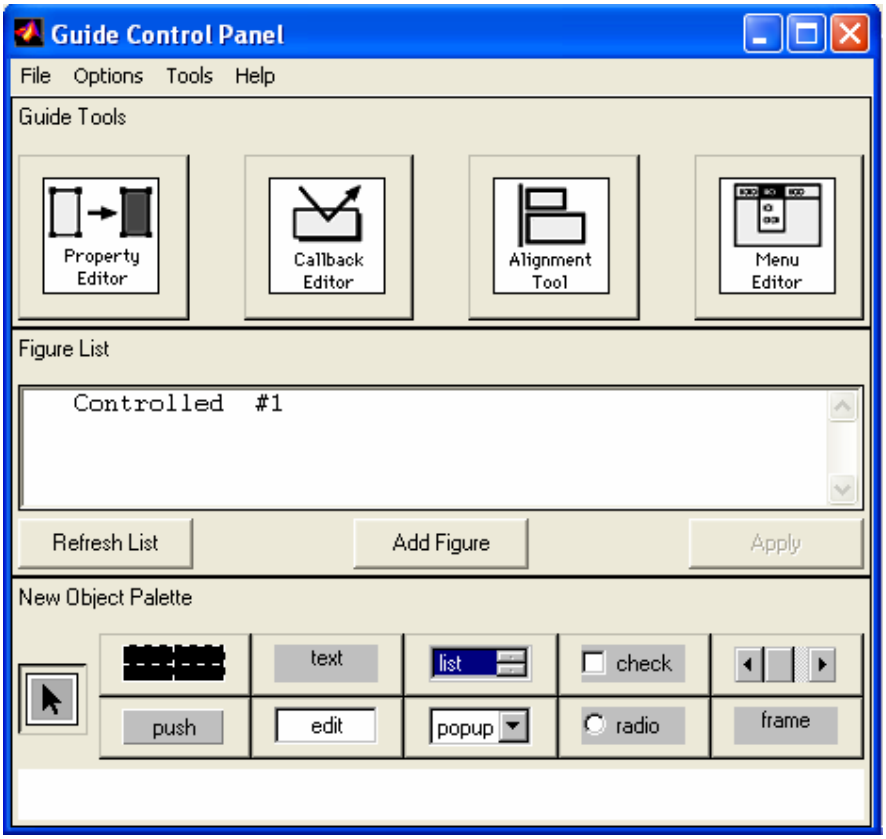
Η εντολή αυτή δημιουργεί αυτόματα μια φόρμα όπως αυτή του Σχήματος 2



Σχήμα 2

Επίσης μας εμφανίζει ταυτόχρονα και το control panel που φαίνεται στο Σχήμα 3 από το οποίο μπορούμε να επιλέξουμε τι ακριβώς θέλουμε να τροποποιήσουμε στη φόρμα μας.

3.1.1 Guide Control Panel



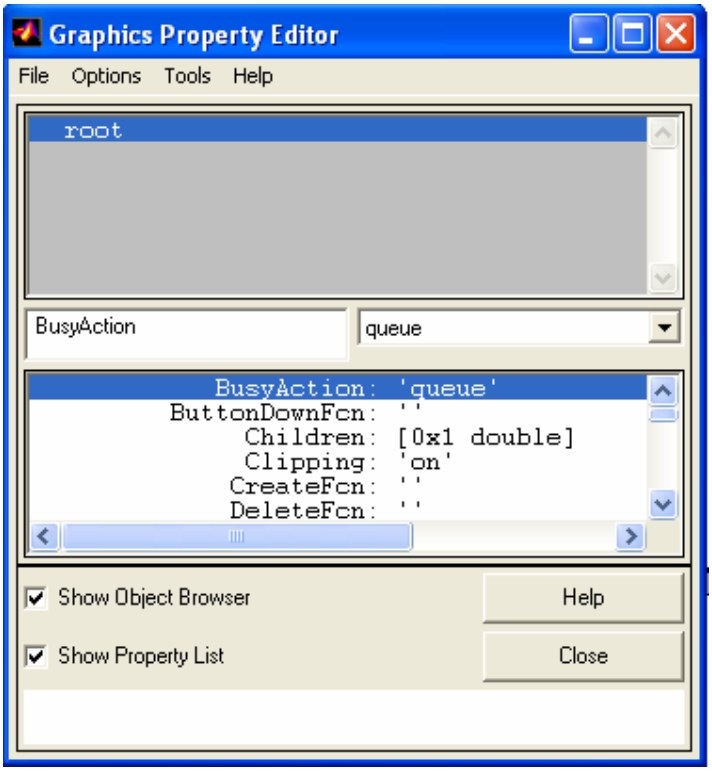
Σχήμα 3

Το Control Panel επιτρέπει σε άλλα γραφικά εργαλεία να ανοίξουν, να μπορέσουν να μεταβάλλουν τον έλεγχο της φόρμας και να προσθέσουν αντικείμενα για να ελέγχουν τις φόρμες. Τα πρώτα τέσσερα κουμπιά του Control Panel δείχνουν την τρέχουσα κατάσταση των άλλων γραφικών εργαλείων .Επιλέγοντας ένα από αυτά τα κουμπιά θα ανοίξει και το κατάλληλο εργαλείο. Κάτω από αυτό υπάρχει μια λίστα από φόρμες με τη τρέχουσα τους κατάσταση, ελεγχόμενη ή ενεργή (controlled or active). Ο έλεγχος μιας φόρμας μπορεί να εγκαταλειφτεί ή να παρθεί επιλέγοντας την κατάλληλη φόρμα με ένα κλικ από την λίστα. Κάτω από το Control Panel της φόρμας υπάρχει μια λίστα με τα διαθέσιμα αντικείμενα (objects), όπως κουμπιά (push), άξονες (axes), edit, αναδυόμενα μενού (popup menu), radio κουμπιά, κείμενο (text), πλαίσια (frame), λίστα (list) και άλλα. από την παλέτα με τα αντικείμενα , τα οποία μπορεί να τα αφήσει (drop) ο χρήστης πάνω σε μια ελεγχόμενη φόρμα. Το Guide είναι ενεργό όταν το Control Panel τρέχει και το λιγότερο μία φόρμα είναι ελεγχόμενη.

3.1.2 Graphcis Property Editor

Ανάλογα με ποια επιλογή θα επιλέξει ο χρήστης από της παραπάνω 4 επιλογές θα εμφανιστεί και το αντίστοιχο σχήμα. Αν επιλέξει το πλήκτρο

εμφανίζει το property editor, το οποίο φαίνεται στο Σχήμα 4. Κάθε γραφικό αντικείμενο στο Matlab έχει ένα σετ από συνδεόμενες ιδιότητες όπως χρώμα και θέση. Ο Property Editor αφήνει να δεις και να αλλάξεις αυτές τις ιδιότητες. Το πρώτο μέρος του Property Editor είναι το ιεραρχικό κομμάτι του object browser, το οποίο αφήνει να επιλέξεις οποιοδήποτε από τα γραφικά αντικείμενα που είναι διαθέσιμα τώρα στην οθόνη. Κάτω από το object browser βρίσκονται δυο διορθώσιμα πεδία που συνδέονται με το επιλεγμένο αντικείμενο. Το ένα στα αριστερά είναι για να εισάγεις όνομα για την ιδιότητα και το άλλο στα δεξιά είναι για να εισάγεις την τιμή της ιδιότητας. Όταν αλλάζει ιδιότητα δεν χρειάζεται να εισάγεις όλο το όνομα της ιδιότητας, απλώς γράφεις όσο χρειάζεται να είναι αρκετό για να αναγνωριστεί η ιδιότητα. Κάτω από την τρέχουσα ιδιότητα βρίσκεται η λίστα με τις ιδιότητες, μια λίστα με όλες τις διαθέσιμες ιδιότητες που συνδέονται με το επιλεγμένο αντικείμενο και την αντίστοιχη τιμή για κάθε μια από τις ιδιότητες.

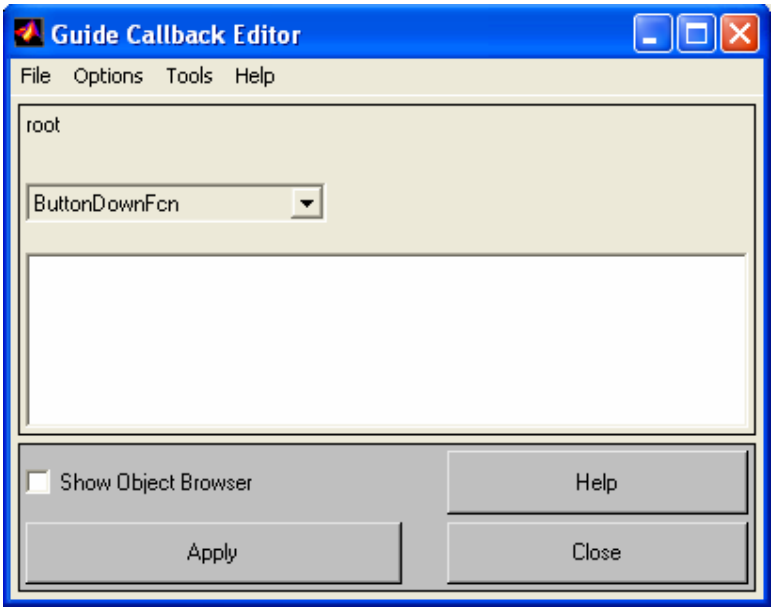


Σχήμα 4

3.1.3 Guide Callback Editor

Αν επιλέξουμε το πλήκτρο

εμφανίζεται το Σχήμα 5. Στη φόρμα αυτή υπάρχει ο Callback Editor,ο οποίος επιτρέπει να καλούνται τύποι ιδιοτήτων για να τροποποιηθούν εισάγοντας τους, όπως ακριβώς θα εισάγονταν από το περιβάλλον εργασίας του Matlab (γραμμή εντολών). Το ίδιο και με τον Property Editor η αρχή του Callback Editor περιέχει είτε τα τρέχοντα επιλεγμένα αντικείμενα τύπος και ετικέτα είτε περιέχει ένα object browser. Κάτω από αυτό υπάρχει η λίστα με τις ιδιότητες που μπορούν να τροποποιηθούν. Κάτω από την ιδιότητα υπάρχει η τρέχουσα τιμή της ιδιότητας.

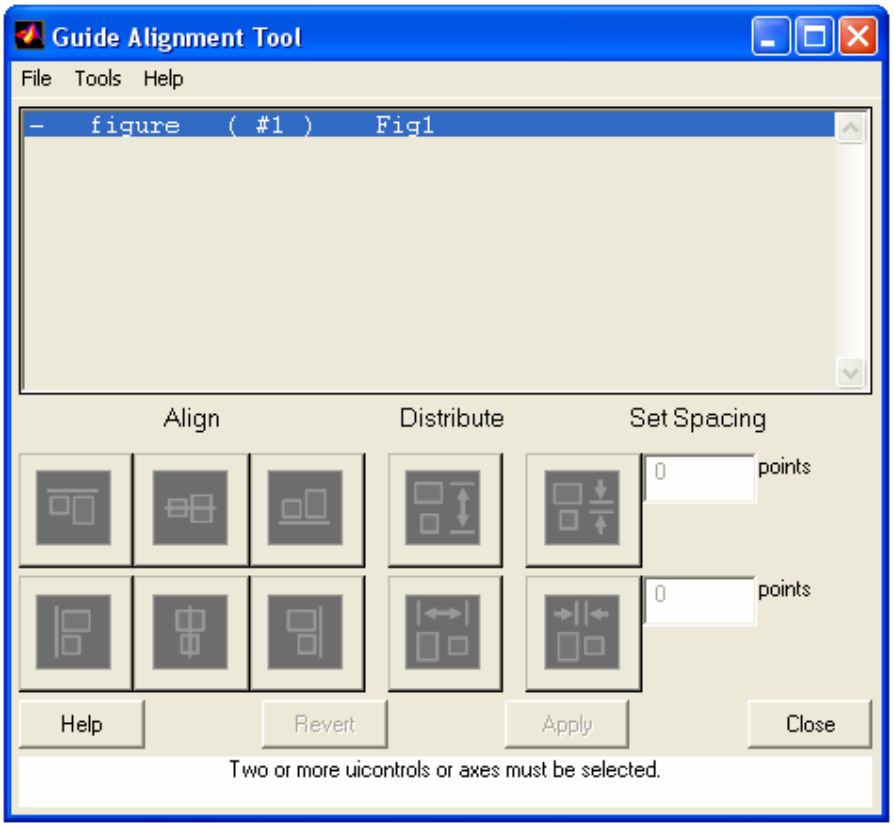


Σχήμα 5

3.1.4 Guide Alignment Tool

Στη συνέχεια επιλέγοντας

εμφανίζεται ο Guide Alignment tool (Σχήμα 6).



Σχήμα 6

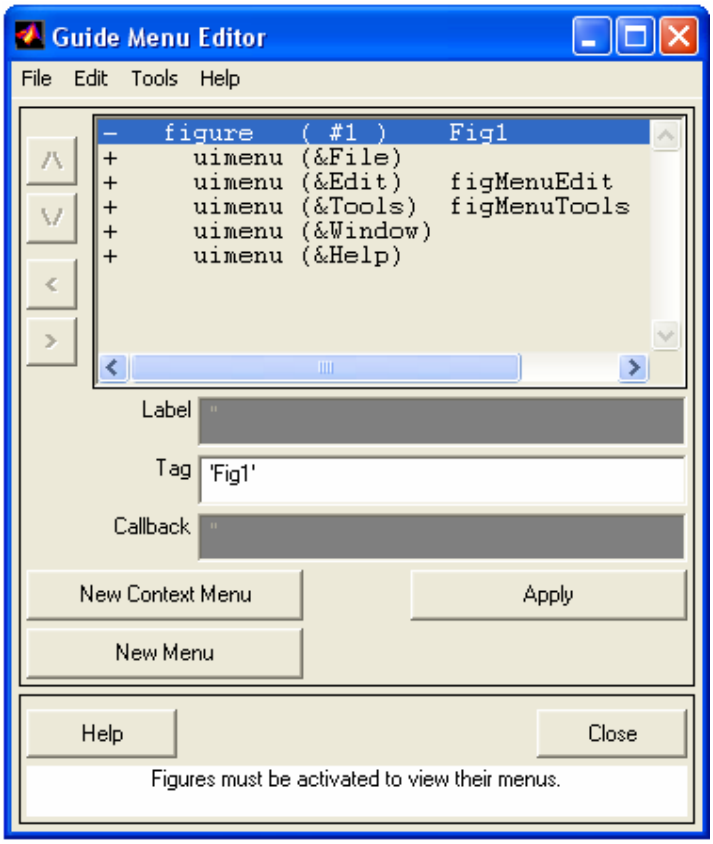
Το Alignment tool επιτρέπει στα αντικείμενα που βρίσκονται σε μια φόρμα να ευθυγραμμισθούν ή να κατανεμηθούν . Στην κορυφή του Alignment tool υπάρχει ο Object Browser ο οποίος περιέχει μια λίστα με όλα τα αντικείμενα τα οποία μπορούν να ευθυγραμμισθούν. Κάτω από τον Object Browser υπάρχει ο Alignment Control.Τα αντικείμενα μπορούν να ευθυγραμμισθούν είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα, η ευθυγράμμιση πραγματοποιείται στη καθορισμένη φόρμα , μπορούν επίσης να κατανεμηθούν με τρόπο ώστε το διάστημα ανάμεσα τους να είναι ίσο. Επιπλέον τα αντικείμενα μπορούν να έχουν μια καθορισμένη απόσταση ανάμεσα τους .Αυτό είναι το μόνο μέρος της ευθυγράμμισης το οποίο δεν δίνει προσοχή στα όρια της φόρμας που περιέχει τα αντικείμενα.

Πρέπει να σημειωθεί ότι πρέπει περισσότερα από ένα αντικείμενα πρέπει να επιλεχθούν για να λειτουργήσει η ευθυγράμμιση.

3.1.5 Guide Menu Editor

Στη συνέχεια επιλέγοντας

εμφανίζεται ο Guide Menu Editor (Σχήμα 7).



Σχήμα 7

Ο Menu Editor επιτρέπει να τροποποιηθούν τα menu μιας φόρμας .Τα menu μπορούν να μετακινηθούν πάνω και κάτω στη ιεραρχία χρησιμοποιώντας τα κουμπιά με τα βέλη στην αριστερή μεριά του Editor.Οι ιδιότητες Label,Tag και Callback μπορούν να τροποποιηθούν απευθείας στον Menu Editor, όλες οι άλλες ιδιότητες πρέπει να τροποποιηθούν με τον Property Editor ή τον Callback Editor.Για να δει ο χρήστης τα menu που υπάρχουν στην ελεγχόμενη (controlled) φόρμα , η φόρμα πρέπει να ενεργοποιηθεί (activated).

3.2 Επεξήγηση Αρχείων

Τα αρχεία κώδικα της εργασίας καλούνται μέσα από το callback των κατάλληλων αντικειμένων. Για παράδειγμα όταν ο χρήστης επιλέγει το πλήκτρο Back Propagation ,για αρχίσει η εκπαίδευση του μοντέλου, στο callback του αντικειμένου αναπτύχθηκε ο ακόλουθος κώδικας.

```
if (Koumpi==1) & (arxik==1)
degff;      %Υπολογίζει τον βαθμό εκπλήρωσης όταν επιλέξουμε γκαουσιανή  συνάρτηση συμμετοχής
και ομοιόμορφη αρχικοποίηση
elseif(Koumpi==1) &(arxik==2)
degff1; %Υπολογίζει τον βαθμό εκπλήρωσης όταν επιλέξουμε γκαουσιανή  συνάρτηση συμμετοχής
και οριζόμενη από τον χρήστη αρχικοποίηση
else
degff2;% %Υπολογίζει τον βαθμό εκπλήρωσης όταν επιλέξουμε Μη Πλήρη Βάση κανόνων
end

if Koumpi==1
    upek;  % Εκπαίδευση του μοντέλου όταν ο χρήστης έχει επιλέξει Πλήρη Βάση κανόνων.

else
    upek2;%Εκπαίδευση του μοντέλου όταν ο χρήστης έχει επιλέξει Μη Πλήρη  Βάση κανόνων
end
```

Επιπλέον στο callback των αντικειμένων αναπτύχθηκε κομμάτι κώδικα όπως στα παρακάτω παραδείγματα. Όταν ο χρήστης πρέπει να εισάγει τον αριθμό των εισόδων, στο Σχήμα 3 του 2ου Κεφαλαίου, στο callback του πλήκτρου Κλείσιμο υπάρχει ο ακόλουθος κώδικας

```
clear('ArithmosEisodon1','AE')
EditHandle=findobj(gcbf,'Tag','EditText1');
ArithmosEisodon1=get(EditHandle,'String');
AE=str2num(ArithmosEisodon1);
if(AE>6)
minima1;
elseif(AE<2 | AE>2)
lathoseisodbox;
else
close(gcf)
end
Sunartisi=1;
telestis=2;
```

Επιπλέον όταν ο χρήστης πρέπει να εισάγει τις παραμέτρους, μέση τιμή και τυπική απόκλιση, για την περίπτωση της γκαουσιανής συνάρτησης συμμετοχής στο Σχήμα22, του 2ου Κεφαλάιου.Στο callback του πλήκτροου Εισαγωγή υπάρχει ο παρακάτω κώδικας.

```
EditHandle=findobj(gcbf,'Tag','EditText1');
STRms=get(EditHandle,'String');
ms=str2num(STRms);
if   ~isempty(find(ms>1 | ms<-1) )
minima4;
else
AAA=find(PinakasParametron(:,1)==2);
if isempty(AAA)
minima7;
else
PinakasParametron(AAA(1),:)=ms;
end
end
```

Ακολουθούν τα αρχεία κώδικα που αναπτύχθηκε για την λειτουργία του προγράμματος.

3.2.1 Αρχείο readfile1.m

Στο αρχείο αυτό υπάρχει το μονοπάτι, από όπου το πρόγραμμα μας βρίσκει το αντίστοιχο σύνολο δεδομένων (box_jenkins), το οποίο βρίσκεται σε ένα αρχείο .txt και το φορτώνει στο πρόγραμμα, ώστε να ξεκινήσει η επεξεργασία των δεδομένων μας.

```
fid = fopen (['C:\MATLABR11\work\box_jenkings.txt'],'r');
struerm='';
      if fid > 0
         while 1
         str = fgetl(fid);
         if ~ischar(str), break, end
         struerm = strvcat(struerm,str);
```

```
        end
    end
    fclose(fid);
    pinakas1=str2num(struerm);
```

3.2.2 Αρχείο readfile2.m

Στο αρχείο αυτό υπάρχει το μονοπάτι, από όπου το πρόγραμμα μας βρίσκει το αντίστοιχο σύνολο δεδομένων (sombrero), το οποίο βρίσκεται σε ένα αρχείο .txt και το φορτώνει στο πρόγραμμα, ώστε να ξεκινήσει η επεξεργασία των δεδομένων μας.

```
fid = fopen (['C:\MATLABR11\work\sombrero.txt'],'r');
struerm='';
    if fid > 0
        while 1
        str = fgetl(fid);
        if ~ischar(str), break, end
        struerm = strvcat(struerm,str);
        end
    end
    fclose(fid);
    pinakas1=str2num(struerm);
```

3.2.3 Αρχείο dimiourgia.m

Στο αρχείο αυτό γίνεται η κανονικοποίηση των δεδομένων.

```
%Τα δεδομένα εισόδων στην δεύτερη στήλη του αρχείου που διαβάσαμε
%Τα δεδομένα εξόδων στην τρίτη στήλη του αρχείου που διαβάσαμε
    m=AE; % Αριθμός εισόδων
    r=AEK; %Αριθμός εξόδων
    if (m==2 & r==1)%Αν έχουμε 2 εισόδους και 1 έξοδο
        pinakas2=pinakas1;
    else
```

```
        [arithmos_grammon,xxxx]=size(pinakas1);%Βρίσκουμε τον αριθμό των
γραμμών που έχει το αρχείο που διαβάσαμε
        pinakas2=zeros(arithmos_grammon-(AE-2),AE+AEK+1);%Ο πίνακας
δεδομένων
        for i1=1:arithmos_grammon-(AE-2)
        pinakas2(i1,1)=i1;%Τοποθέτηση αύξοντος αριθμού στην πρώτη στήλη
        end

        for j1=1:AE-1%Για τις m-1 εισόδους που θα δημιουργηθούν από την
δεύτερη στήλη του box_jenkins
        pinakas2(:,j1+1)=pinakas1(j1:arithmos_grammon-
AE+j1+1,2);%Δημιουργία των στηλών γαι τις εισόδους
        end

        pinakas2(:,AE+1)=pinakas1(1:arithmos_grammon-(AE-2),3);%Η
τελευταία είσοδος παίρνει τα δεδομένα από την τρίτη στήλη του box_jenkins

        for k1=1:AEK
        pinakas2(:,k1+AE+1)=pinakas1(k1:arithmos_grammon-
AE+k1+1,4);%Δημιουργία των στηλών για τις εξόδους από την τέταρτη στήλη του
box_jenkins
        end
      end%end of if


      upper=1;
      lower=-1;
      [d1pinakas2,d2pinakas2]=size(pinakas2);
      pinakas3=zeros(d1pinakas2,d2pinakas2); %Ορισμός του pinaka3 με
κανονικοποιημένα δεδομένα
      maxee=zeros(1,m+r);
      minee=zeros(1,m+r);
      for i=2:m+r+1
         maxee(1,i-1)=max(pinakas2(:,i));
         minee(1,i-1)=min(pinakas2(:,i));

      end

      for j=1:d1pinakas2 %loop για την δημιουργία του pinaka 3
         pinakas3(j,1)=j;
         for g=2:d2pinakas2
```

```
          pinakas3(j,g)=((upper-lower)*pinakas2(j,g)+maxee(1,g-1)*lower-
minee(1,g-1)*upper)/(maxee(1,g-1)-minee(1,g-1));
         end

      end
```

3.2.4 Αρχείο omoiomorfi.m

Στο αρχείο αυτό, ανάλογα με το είδος της συνάρτησης συμμετοχής που έχει επιλέξει ο χρήστης, γίνεται η αρχικοποίηση των παραμέτρων των συναρτήσεων συμμετοχής όταν ο χρήστης επιλέγει ομοιόμορφη αρχικοποίηση.

```
upper=1;%Ανώτερη τιμή στο διάστημα κανονικοποίησης
lower=-1;%Κατώτερη τιμή στο διάστημα κανονικοποίησης

if (Koumpi==1 & Sunartisi==1)%Πλήρης βάση NAI, Συνάρτηση Gaussiani
   PinakasParametron=zeros(AS1,2);%Ορισμός του πίνακα που θα αποθηκευθούν
τα m,σ
   for i=1:AS1%AS1 είναι ο αριθμός των ασαφών συνόλων
      PinakasParametron(i,1)=((i-1)*(upper-lower))/(AS1-1)+lower;%Εδώ
δίνεται το mi
      a10=upper-lower;
      a20=2*(AS1-1);
      a30=sqrt((-2)*log(Gramma));
      PinakasParametron(i,2)=a10/(a20*a30);%Εδώ δίνεται το σi
    end



elseif (Koumpi==1 & Sunartisi==2)%Πλήρης βάση NAI, Συνάρτηση Τριγωνική
   PinakasParametron=zeros(AS1,3);%Ορισμός του πίνακα που θα αποθηκευθούν
τα a,b,c
   PinakasParametron(1,1)=lower;%Εδώ δίνεται το a1
   PinakasParametron(AS1,3)=upper;% Εδώ δίνεται το cn
   for j=2:AS1%Βρόγχος για την συμπλήρωση των a
       PinakasParametron(j,1)=lower+(((upper-lower)*(j-1))/(AS1-1))-
((upper-lower)/((2*(AS1-1))*(1-Gramma)));
    end

   for k=1:AS1%Βρόγχος για την συμπλήρωση των b
```

```
        PinakasParametron(k,2)=lower+(((upper-lower)*(k-1))/(AS1-1));
   end

   for q=1:(AS1-1)%Βρόγχος για την συμπλήρωση των c
      PinakasParametron(q,3)=lower+(((upper-lower)*(q-1))/(AS1-1))+((upper-
lower)/(2*(AS1-1)*(1-Gamma)));
   end



elseif (Koumpi==2 & Sunartisi==1)%Πλήρης βάση ΟΧΙ,Συνάρτηση Gaussiani
   PinakasParametron=ones(sum(ArAs),2)*2;%Ορισμός του πίνακα που θα
αποθηκευθούν τα m,σ
   for i=1:AE%Για κάθε είσοδο
      for j=1:ArAs(i)%Για όλα τα ασαφή κάθε εισόδου
         PinakasParametron1(j,1)=((j-1)*(upper-lower))/(ArAs(i)-
1)+lower;%Εδώ δίνεται το mi
         PinakasParametron1(j,2)=((upper-lower)/(2*(ArAs(i)-1))*(1/sqrt(-
2*log(Gamma))));%Εδώ δίνεται το σi

      end
      AAA=find(PinakasParametron(:,1)==2);%Οι γραμμές που ακόμα δεν έχουν
καλυφθεί
      AAA1=AAA(1);%Η πρώτη γραμμή που δεν έχει καλυφθεί ακόμα
      PinakasParametron(AAA1:AAA1+ArAs(i)-1,:)=PinakasParametron1;%Κάλυψε
τόσες γραμμές του PinakaParametron,

%αρχίζοντας από την πρώτη, όσα είναι τα ασαφή σύνολα της i εισόδου

      PinakasParametron1=[];%Μηδενισμός
   end


else% Πλήρης βάση ΟΧΙ, Συνάρτηση Τριγωνική
   PinakasParametron=ones(sum(ArAs),3)*2;%Ορισμός του πίνακα που θα
αποθηκευθούν τα a,b,c
   for i=1:AE %Για κάθε είσοδο
     PinakasParametron1(1,1)=lower;%Εδώ δίνεται το a1
     PinakasParametron1(ArAs(i),3)=upper;%Εδώ δίνεται το cn
     for j=2:ArAs(i)%Βρόγχος για την συμπλήρωση των a
```

```
       PinakasParametron1(j,1)=lower+(((upper-lower)*(j-1))/(ArAs(i)-1))-
((upper-lower)/(2*(ArAs(i)-1)*(1-Gramma)));
     end

     for k=1:ArAs(i)%Βρόγχος για την συμπλήρωση των b
       PinakasParametron1(k,2)=lower+((upper-lower)*(k-1))/(ArAs(i)-1);
     end

     for q=1:(ArAs(i)-1)%Βρόγχος για την συμπλήρωση των c
      PinakasParametron1(q,3)=lower+((upper-lower)*(q-1)/(ArAs(i)-
1))+((upper-lower)/(2*(ArAs(i)-1)*(1-Gramma)));
     end



      AAA=find(PinakasParametron(:,1)==2);%Οι γραμμές που ακόμα δεν έχουν
καλυφθεί
      AAA1=AAA(1);%Η πρώτη γραμμή που δεν έχει καλυφθεί ακόμα
           PinakasParametron(AAA1:AAA1+ArAs(i)-
1,:)=PinakasParametron1;%%Κάλυψε τόσες γραμμές του PinakaParametron,

%αρχίζοντας από την πρώτη, όσα είναι τα ασαφή σύνολα της i εισόδου


      PinakasParametron1=[];%Μηδενισμός
   end %Τέλος για κάθε είσοδο

end %Τελικό end
```

3.2.5 Αρχείο combFnk.m

Το αρχείο αυτό υπολογίζει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς των n^k , όπου n είναι τα ασαφή σύνολα και όπου k είναι οι είσοδοι και ο συνδυασμός n^k μας δίνεί όλους τους δυνατούς κανόνες.

```
function [p,time]=combfnk(n,k)

%COMBFNK συνδυασμοί K μεταβλητών με N διαφορετικών καταστάσεων.
%     P=COMBFNK(N,K)  δίνει ένα πίνακα που περιέχει όλους του δυνατούς
συνδυασμούς N^K
%     των K μεταβλητών που θα μπορούν να είναι σε N διαφορετικές
καταστάσεις. Ο πίνακας P έχει K
%     στήλες.
%
%     Παράδειγμα:
%
%         p=combfnk(2,3) επιστρέφει τον πίνακα:
%         p=[1 1 1
%            1 1 2
%            1 2 1
%            1 2 2
%            2 1 1
%            2 1 2
%            2 2 1
%            2 2 2]
%
%





tic
p=(-5)*ones(n^k,k);

for i=1:k % Βρόγχος για κάθε μεταβλητή
   for j=1:n % Βρόγχος για κάθε κατάσταση
      p(((j-1)*(n^(k-i)))+1:j*(n^(k-i)),i)=j; % Βάλε τον αριθμό j σε αυτές
τις σειρές.
                                              % κάθε i-th στήλης
      aa=find(p(:,i)==-5); % Όπου δεν έχει ακόμη συμπληρωθεί στην i-th
στήλη
      lastline=aa(1)-1; % Στην τελευταία συμπληρωμένη σειρά
      if lastline==(n^(k-1)),
 break,
```

```
 end
   end %Τέλος του j
   bb=find(p(:,i)==-5); % 'Οπου ακόμη δεν έχει συμπληρωθεί στην i-th στήλη
   lastline1=bb(1)-1; % Η τελευταία συμπληρωμένη σειρά της i-th στήλης
   module=p(1:lastline1,i); % Οι συμπληρωμένες γραμμές της i-th.. στήλης.
Αυτό το διάνυσμα θα αντιγραφεί και
                              %θα επικολληθεί
                             %Στην συνεχιζόμενη της i-th στήλης μέχρι την n
δύναμη στην κ γραμμή.
   [rm cm]=size(module); % rm Δίνει τον αριθμό των γραμμών από το οποίο
αποτελείται η υπομονάδα
   while lastline1~=(n^(k-1)) % Αντέγραψε και επικόλλησε την υπομονάδα
μέχρι την  (n^(k-1))-th γραμμή
      cc=find(p(:,i)==-5); % 'Οπου δεν έχει ακόμη συμπληρωθεί στην i-th
στήλη
      p(cc(1):cc(1)+rm-1,i)=module; % Επικόλλησε την υπομονάδα.
      dd=find(p(:,i)==-5); % 'Οπου δεν έχει ακόμη συμπληρωθεί στην i-th
στήλη
      lastline1=dd(1)-1;
   end % Τέλος του while, αντιγραφή και επικόλληση της υπομονάδας της  i-th
στήλης
end % Τέλος του i
```

```
% Εδώ είναι όλες οι n^(k-1) γραμμές του p πίνακα συμπληρωμένες. Η
διαδικασία θα συνεχιστεί με την αντιγραφή
% Και την επικόλληση των γραμμών
% Στις επόμενες γραμμές του p αυξάνοντας την τιμή της πρώτης γραμμής κατά
ένα κάθε φορά
module1=p(1:(n^(k-1)),2:k); % Η πρώτη  n^(k-1) γραμμή του p μετά την
δεύτερη στήλη
for t=2:n % Βρόγχος για να συμπληρωθεί ολόκληρος ο πίνακας p
   p(((t-1)*(n^(k-1)))+1:t*(n^(k-1)),2:k)=module1; % Επανάληψη της n^(k-1)
γραμμών εκτός της πρώτης γραμμής
   p(((t-1)*(n^(k-1)))+1:t*(n^(k-1)),1)=t; % Αύξηση της τιμής της πρώτης
στήλης κατά ένα
end % Τέλος του t
```

```
time=toc;
```

3.2.6 Αρχείο degff .m

Στο αρχείο αυτό υπολογίζεται ο βαθμός συμμετοχής της i εισόδου για το j δεδομένο στο r ασαφές σύνολο και ο βαθμός εκπλήρωσης κάθε κανόνα, όταν ο χρήστης έχει επιλέξει πλήρη βάση κανόνων και ομοιόμορφη αρχικοποίηση των παραμέτρων των συναρτήσεων συμμετοχής.

```
% Βαθμός Εκπλήρωσης:Πλήρη βάση, Ομοιόμορφη αρχικοποίηση των παραμέτρων των
συναρτήσεων συμμετοχής

[numdata,aa2]=size(pinakas3); %Το numdata δίνει τον αριθμό των δεδομένων
degp=ones(AS1*numdata,AE)*2;% Ορισμός του πίνακα που θα αποθηκευθούν οι
βαθμοί συμμετοχής

for i=1:AE
   for j=1:numdata
      for r=1:AS1
         x=pinakas3(j,i+1);% Η τιμή της εισόδου i για το j δεδομένο
         if Sunartisi==1 %Αν η συνάρτηση συμμετοχής είναι Gaussian

            m=PinakasParametron(r,1);% Το m για το r ασαφές σύνολο
            si=PinakasParametron(r,2);% Το σ για r ασαφές σύνολο
            degp((AS1*(j-1))+r,i)=exp(-((x-m)^2)/(2*(si^2)));%Ο βαθμός
συμμετοχής της i εισόδου για το j
            % δεδομένο στο r ασαφές σύνολο

         else %Η συνάρτηση συμμετοχής είναι τριγωνική

            a=PinakasParametron(r,1);% Το a για το r ασαφές σύνολο
            b=PinakasParametron(r,2);%Το b για το r ασαφές σύνολο
            c=PinakasParametron(r,3);%Το c για το r ασαφές σύνολο

            if x<=a
              degp((AS1*(j-1))+r,i)=0;
           elseif x>a & x<=b
              degp((AS1*(j-1))+r,i)=(x-a)/(b-a);
            elseif x>b & x<=c
              degp((AS1*(j-1))+r,i)=(c-x)/(c-b);
```

```
            else
               degp((AS1*(j-1))+r,i)=1;
             end %end του if για τις υποπεριπτώσεις της τριγωνικής


         end %end του if για το είδος της συνάρτησης
      end %end του r

   end %end του j

end %end του i



%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Μέχρι εδώ έχουν υπολογισθεί όλοι οι βαθμοί
συμμετοχής%%%%%%%%%%%%%

   %%%%%%%%%%Από εδώ και πέρα θα υπολογισθεί ο βαθμός εκπλήρωσης(degree of
fullfilment) για κάθε κανόνα%%%%%



   kanones=combfnk(AS1,AE); %Ο πίνακας αυτός περιέχει όλους τους
διαφορετικούς κανόνες όταν έχουμε επιλέξει πλήρη βάση κανόνων


   GGamma=(-2)*ones(AS1^AE,1,AS1*AE);%Ο πίνακας γ
for i1=1:AE% Για κάθε μεταβλητή
   for j1=1:AS1%Για κάθε ασαφές
      for m1=1:AS1^AE%Για κάθε κανόνα
         if kanones(m1,i1)==j1
            GGamma(m1,1,AS1*(i1-1)+j1)=1;
         else
            GGamma(m1,1,AS1*(i1-1)+j1)=0;
         end


      end %end του m1
```

```
   end%end του j1



end %end του i1



   %Πλήρη βάση κανόνων
   nkan=AS1^AE;%Ο αριθμός των κανόνων

   degf=ones(nkan*numdata,1)*2;%Ορισμός διανύσματος όπου θα αποθηκευθούν οι
βαθμοί εκπλήρωσης για κάθε κανόνα και κάθε δεδομένο

   if telestis==1% Ο τελεστής είναι product
      for q=1:numdata % Για κάθε δεδομένο
         for i=1:nkan% Για κάθε κανόνα
              for g=1:AE %Για κάθε είσοδο
                 for i1=1:AS1%Για κάθε ασαφές
                  a100(1,i1)=GGamma(i,1,AS1*(g-1)+i1);% Τα γ για τον κανόνα
i για την είσοδο g
                  b100(i1,1)=degp(AS1*(q-1)+i1,g); %Οι βαθμοί συμμετοχής
της g εισόδου σε κάθε ένα από τα ασαφή της για το q δεδομένο
              end

              bs(1,g)=a100*b100;%Πολλαπλασιασμός διανυσμάτων
           end %end του g
            degf(nkan*(q-1)+i)=prod(bs);%Ο βαθμός εκπλήρωσης δίνεται από το
γινόμενο των βαθμών συμμετοχής
         end %end του i

      end% end του q
         else % Ο τελεστής είναι min

       for q=1:numdata % Για κάθε δεδομένο
         for i=1:nkan%Για κάθε κανόνα
                for g=1:AE%Για κάθε είσοδο
                   for i1=1:AS1%Για κάθε ασαφές

                     a100(1,i1)=GGamma(i,1,AS1*(g-1)+i1);%Τα γ για τον
κανόνα i για την είσοδο g
```

```
                    b100(i1,1)=degp(AS1*(q-1)+i1,g);%Οι βαθμοί συμμετοχής
της g εισόδου σε κάθε ένα από τα ασαφή της για το q δεδομένο
                end

                bs(1,g)=a100*b100;%Πολλαπλασιασμός διανυσμάτων
            end %end του g
            degf(nkan*(q-1)+i)=min(bs);%Ο βαθμός εκπλήρωσης δίνεται από το
ελάχιστο των βαθμών συμμετοχής
        end %end του i

      end% end του q


   end%end του if για telestis
```

3.2.7 Αρχείο degff1 .m

Στο αρχείο αυτό υπολογίζεται ο βαθμός συμμετοχής της i εισόδου για το j δεδομένο στο r ασαφές σύνολο και ο βαθμός εκπλήρωσης κάθε κανόνα, όταν ο χρήστης έχει επιλέξει πλήρη βάση κανόνων και οριζόμενη από τον χρήστη αρχικοποίηση των παραμέτρων των συναρτήσεων συμμετοχής.

```
% Βαθμός εκπλήρωσης: Πλήρης βάση, Αρχικοποίηση των παραμέτρων των
συναρτήσεων συμμετοχής με εισαγωγή τους από τον χρήστη

[numdata,aa2]=size(pinakas3); %%Το numdata δίνει τον αριθμό των δεδομένων
degp=ones(AS1*numdata,AE)*2;%Ορισμός του πίνακα που θα αποθηκευθούν οι
βαθμοί συμμετοχής

for i=1:AE%Για κάθε είσοδο
   for j=1:numdata
      for r=1:AS1
         x=pinakas3(j,i+1);%Η τιμή της εισόδου i για το j δεδομένο
         if Sunartisi==1 %Αν η συνάρτηση συμμετοχής είναι Gaussian


            m=PinakasParametron(AS1*(i-1)+r,1);%Το m για το r ασαφές σύνολο
            si=PinakasParametron(AS1*(i-1)+r,2);%Το σ για r ασαφές σύνολο
            degp((AS1*(j-1))+r,i)=exp(-((x-m)^2)/(2*(si^2)));% Ο βαθμός
συμμετοχής της i εισόδου για το j
            % δεδομένο στο r ασαφές σύνολο της i εισόδου
```

```
        else %Η συνάρτηση συμμετοχής είναι τριγωνική

           a=PinakasParametron(AS1*(i-1)+r,1);%Το a για το r ασαφές σύνολο
           b=PinakasParametron(AS1*(i-1)+r,2);%Το b για το r ασαφές σύνολο
           c=PinakasParametron(AS1*(i-1)+r,3);%Το c για το r ασαφές σύνολο

           if x<=a
             degp((AS1*(j-1))+r,i)=0;
          elseif x>a & x<=b
             degp((AS1*(j-1))+r,i)=(x-a)/(b-a);
           elseif x>b & x<=c
             degp((AS1*(j-1))+r,i)=(c-x)/(c-b);
          else
             degp((AS1*(j-1))+r,i)=1;
           end %end του if για τις υποπεριπτώσεις της τριγωνικής



        end %end του if για το είδος της συνάρτησης
      end %end του r

   end %end του j

end %end του i



%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Μέχρι εδώ έχουν υπολογισθεί όλοι οι βαθμοί
συμμετοχής%%%%%%%%%%%%%

   %%%%%%%%%%Από εδώ και πέρα θα υπολογισθεί ο βαθμός εκπλήρωσης(degree of
fullfilment) για κάθε κανόνα%%%%%



   kanones=combfnk(AS1,AE); %Ο πίνακας αυτός περιέχει όλους τους
διαφορετικούς κανόνες όταν έχουμε επιλέξει πλήρη βάση κανόνων
```

```
   GGamma=(-2)*ones(AS1^AE,1,AS1*AE);%Ο πίνακας γ

for i1=1:AE%Για κάθε μεταβλητή

   for j1=1:AS1%Για κάθε ασαφές
      for m1=1:AS1^AE%Για κάθε κανόνα
         if kanones(m1,i1)==j1
            GGamma(m1,1,AS1*(i1-1)+j1)=1;
         else
            GGamma(m1,1,AS1*(i1-1)+j1)=0;
         end


      end %end του m1


   end%end του j1



end %end του i1



  %Πλήρη βάση κανόνων

   nkan=AS1^AE;%Ο αριθμός των κανόνων


   degf=ones(nkan*numdata,1)*2;%Ορισμός διανύσματος όπου θα αποθηκευθούν οι
βαθμοί εκπλήρωσης για κάθε κανόνα και κάθε δεδομένο

   if telestis==1% Ο τελεστής είναι product
      for q=1:numdata %Για κάθε δεδομένο

         for i=1:nkan% Για κάθε κανόνα
            for g=1:AE %Για κάθε είσοδο
              for i1=1:AS1 %Για κάθε ασαφές
                  a100(1,i1)=GGamma(i,1,AS1*(g-1)+i1);%Τα γ για τον κανόνα
i για την είσοδο g
```

```
                b100(i1,1)=degp(AS1*(q-1)+i1,g); %Οι βαθμοί συμμετοχής
της g εισόδου σε κάθε ένα από τα ασαφή της για το q δεδομένο

            end

            bs(1,g)=a100*b100;%Πολλαπλασιασμός διανυσμάτων
        end %end του g
          degf(nkan*(q-1)+i)=prod(bs);%Ο βαθμός εκπλήρωσης δίνεται από το
γινόμενο των βαθμών συμμετοχής

       end %end του i

     end% end του q

  else % Ο τελεστής είναι min

      for q=1:numdata %Για κάθε δεδομένο
          for i=1:nkan %Για κάθε κανόνα
          for g=1:AE %Για κάθε είσοδο
             for i1=1:AS1 %Για κάθε ασαφές

                a100(1,i1)=GGamma(i,1,AS1*(g-1)+i1);%Τα γ για τον κανόνα
i για την είσοδο g
                b100(i1,1)=degp(AS1*(q-1)+i1,g);%Οι βαθμοί συμμετοχής
της g εισόδου σε κάθε ένα από τα ασαφή της για το q δεδομένο

             end

             bs(1,g)=a100*b100;%Πολλαπλασιασμός διανυσμάτων

         end %end του g
          degf(nkan*(q-1)+i)=min(bs);%%Ο βαθμός εκπλήρωσης δίνεται από το
ελάχιστο των βαθμών συμμετοχής

       end %end του i

     end% end του q


  end%end του if για telestis
```

3.2.8 Αρχείο degff2.m

Στο υπολογίζεται ο βαθμός συμμετοχής της i εισόδου για το j δεδομένο στο r ασαφές σύνολο και ο βαθμός εκπλήρωσης κάθε κανόνα, όταν ο χρήστης έχει επιλέξει μη πλήρη βάση κανόνων και είτε ομοιόμορφη είτε οριζόμενη αρχικοποίηση των παραμέτρων των συναρτήσεων συμμετοχής.

```
%Βαθμός εκπλήρωσης:Μη πλήρης βάση

[numdata,aa2]=size(pinakas3); %Το numdata δίνει τον αριθμό των δεδομένων
degp=ones(sum(ArAs)*numdata,1)*2;%Ορισμός του πίνακα που θα αποθηκευθούν οι
βαθμοί συμμετοχής


for i=1:AE%Γιακάθε είσοδο
   for j=1:numdata
      for r=1:ArAs(i)
         x=pinakas3(j,i+1);%Η τιμή της εισόδου i για το j δεδομένο
         if Sunartisi==1 %Αν η συνάρτηση συμμετοχής είναι Gaussian

            if i==1%Για την πρώτη είσοδο
               m=PinakasParametron(r,1);%Το m για το r ασαφές σύνολο

               si=PinakasParametron(r,2);%Το σ για r ασαφές σύνολο

               degp((r-1)*numdata+j,1)=exp(-((x-m)^2)/(2*(si^2)));%Ο βαθμός
συμμετοχής της i εισόδου για το j
            % δεδομένο στο r ασαφές σύνολο της i εισόδου
            else%Για τις υπόλοιπες εισόδους
               m=PinakasParametron(sum(ArAs(1:i-1)+r),1);
               si=PinakasParametron(sum(ArAs(1:i-1)+r),2);
               degp(sum(ArAs(1:i-1))*numdata+(r-1)*numdata+j,1)=exp(-((x-
m)^2)/(2*(si^2)));%Ο βαθμός συμμετοχής της i εισόδου για το j
            % δεδομένο στο r ασαφές σύνολο
            end

         else %Η συνάρτηση συμμετοχής είναι τριγωνική
```

```
            if i==1%Για την πρώτη είσοδο

           a=PinakasParametron(r,1);%Το a για το r ασαφές σύνολο
           b=PinakasParametron(r,2);%Το b για το r ασαφές σύνολο
           c=PinakasParametron(r,3);%Το c για το r ασαφές σύνολο
           if x<=a
             degp((r-1)*numdata+j,i)=0;
           elseif x>a & x<=b
             degp((r-1)*numdata+j,i)=(x-a)/(b-a);
           elseif x>b & x<=c
             degp((r-1)*numdata+j,i)=(c-x)/(c-b);
           else
             degp((r-1)*numdata+j,i)=1;
          end %end του if για τις υποπεριπτώσεις της τριγωνική
              else%Για τις άλλες εισόδους
             a=PinakasParametron(sum(ArAs(1:i-1)+r),1);%Το a για το r
ασαφές σύνολο
             b=PinakasParametron(sum(ArAs(1:i-1)+r),2);%Το b για το r
ασαφές σύνολο
             c=PinakasParametron(sum(ArAs(1:i-1)+r),3);%Το c για το r
ασαφές σύνολο
           if x<=a
             degp(sum(ArAs(1:i-1))*numdata+(r-1)*numdata+j,i)=0;
           elseif x>a & x<=b
             degp(sum(ArAs(1:i-1))*numdata+(r-1)*numdata+j,i)=(x-a)/(b-a);
           elseif x>b & x<=c
             degp(sum(ArAs(1:i-1))*numdata+(r-1)*numdata+j,i)=(c-x)/(c-b);
           else
             degp(sum(ArAs(1:i-1))*numdata+(r-1)*numdata+j,i)=1;
           end %end του if για τις υποπεριπτώσεις της τριγωνικής
           end%end του if i==1

        end %end του if για το είδος της συνάρτησης
      end %end του r

   end %end του j

end %end του i
```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%Μέχρι εδώ έχουν υπολογισθεί όλοι οι βαθμοί
συμμετοχής%%%%%%%%%%%%%

   %%%%%%%%%%Από εδώ και πέρα θα υπολογισθεί ο βαθμός εκπλήρωσης(degree of
fullfilment) για κάθε κανόνα%%%%%



nkan=size(kanones,1);%Ο αριθμός των κανόνων


   GGamma=(-2)*ones(nkan,1,sum(ArAs));%Ο πίνακας γ

   d11=0;%Μετρητής για διευκόλυνση του χειρισμού των ασαφών
for i1=1:AE%Για κάθε μεταβλητή

   for j1=1:ArAs(i1)%Για κάθε ασαφές αυτής της εισόδου
      d11=d11+1;
      for m1=1:A1%Για κάθε είσοδο
         if kanones(m1,i1)==j1
            GGamma(m1,1,d11)=1;
         else
            GGamma(m1,1,d11)=0;
         end


      end %end του m1


   end%end του j1



end %end του i1
```

```
   %Μη πλήρης βάση κανόνων

   degf=ones(nkan*numdata,1)*2;%Ορισμός διανύσματος όπου θα αποθηκευθούν οι
βαθμοί εκπλήρωσης για κάθε κανόνα και κάθε δεδομένο
   if telestis==1%Ο τελεστής είναι product
      for q=1:numdata %Για κάθε δεδομένο
         for i=1:nkan %Για κάθε κανόνα
            d11=0;

            for g=1:AE %Για κάθε είσοδο
              for i1=1:ArAs(g)%Για κάθε ασαφές της εισόδου g
                 d11=d11+1;
                 a100(1,i1)=GGamma(i,1,d11);%Τα γ για τον κανόνα i για την
είσοδο g
                 if g==1
                    b100(i1,1)=degp((i1-1)*numdata+q,1); %Οι βαθμοί
συμμετοχής της g εισόδου σε κάθε ένα από τα ασαφή της για το q δεδομένο
                 else%Για τις άλλες εισόδους
                    b100(i1,1)=degp(sum(ArAs(1:g-1))*numdata+(i1-
1)*numdata+q,1);
                 end

              end

              bs(1,g)=a100*b100;%Πολλαπλασιασμός διανυσμάτων
           end %end του g
            degf(nkan*(q-1)+i)=prod(bs);%Ο βαθμός εκπλήρωσης δίνεται από το
γινόμενο των βαθμών συμμετοχής

         end %end του i

      end% end του q

   else %Ο τελεστής είναι min

       for q=1:numdata %Για κάθε δεδομένο

          for i=1:nkan %Για κάθε κανόνα
            d11=0;
                for g=1:AE %Για κάθε είσοδο
```

```
              for i1=1:ArAs(g)%Για κάθε ασαφές της εισόδου g
                 d11=d11+1;
                 a100(1,i1)=GGamma(i,1,d11);%Τα γ για τον κανόνα i για την
είσοδο g
                 if g==1
                    b100(i1,1)=degp((i1-1)*numdata+q,1); %Οι βαθμοί
συμμετοχής της g εισόδου σε κάθε ένα από τα ασαφή της για το q δεδομένο
                 else %Για τις άλλες εισόδους
                    b100(i1,1)=degp(sum(ArAs(1:g-1))*numdata+(i1-
1)*numdata+q,1);
                 end

              end

              bs(1,g)=a100*b100; %Πολλαπλασιασμός διανυσμάτων

           end %end του g
            degf(nkan*(q-1)+i)=min(bs);%%Ο βαθμός εκπλήρωσης δίνεται από το
ελάχιστο των βαθμών συμμετοχής
         end %end του i


      end% end του q


   end%end του if για telestis
```

3.2.9 Αρχείο upek.m

Στο αρχείο αυτό πραγματοποιείται η εκπαίδευση του μοντέλου όταν ο χρήστης έχει επιλέξει πλήρη βάση κανόνων.

```
% 1) Υπολογισμός των g
numdata=size(pinakas3,1);%Ο αριθμός των δεδομένων
numkan=AS1^AE;%Ο αριθμός των κανόνων
for i=1:numdata %Για κάθε δεδομένο
```

```
   teis=ones(AE+1,1);%Ορισμός του teis
   teis(2:AE+1,1)=pinakas3(i,2:AE+1)';%Το teis τώρα έχει τη μορφή [1 u1
u2...um]'
   for q=1:numkan %Για κάθε κανόνα
      for r=1:AEK %Για κάθε έξοδο
         gkanonon(((i-1)*numkan)+q,r)=PinakasBaron(q,((r-
1)*(AE+1))+1:r*(AE+1))*teis;
      end%end του r

   end% end του q

end% end του i


% 2)Υπολογισμός των y
for i=1:numdata %Για κάθε δεδομένο
   for r=1:AEK %Για κάθε έξοδο
      y1(((i-1)*AEK)+r,1)=(gkanonon(((i-1)*numkan)+1:i*numkan,r)'*degf(((i-
1)*numkan)+1:i*numkan,1))/...
         sum(degf(((i-1)*numkan)+1:i*numkan,1));
   end%end του r

end%end του i

%Αναδιάταξη των y στη μορφή:μια στήλη για κάθε έξοδο, μια γραμμή για κάθε
δεδομένο
for h=1:AEK %Για κάθε έξοδο
   for h1=1:numdata %Για κάθε δεδομένο
        y(h1,h)=y1((h1-1)*AEK+h,1);%Αναδιάταξη
   end%end του h1
end%end του h

%Διαδικασία αποκανονικοποίησης των εξόδων
upper=1;
lower=-1;
for q5=1:AEK% Για κάθε έξοδο
    max1=max(pinakas2(:,1+AE+q5));%Πραγματικό μέγιστο της q5 εξόδου
    min1=min(pinakas2(:,1+AE+q5));%Πραγματικό ελάχιστο της q5 εξόδου
    for k5=1:numdata
       yapok(k5,q5)=((max1-min1)*y(k5,q5)+(upper*min1-lower*max1))/(upper-
lower);
```

```
    end%end του k5
end%end του q5

%Υπολογισμός του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (Mean Squared Error, MSE)
t100=0;%Εδώ θα αποθηκεύονται τα αθροίσματα του E
for k1=1:numdata %Για κάθε δεδομένο
   for k2=1:AEK %Για κάθε έξοδο
      t100=t100+(pinakas2(k1,AE+1+k2)-yapok(k1,k2))^2;
   end%end του k2
end%end του k1

E=(1/numdata)*t100;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
if arxik==1%Ομοιόμορφη αρχικοποίηση
   for i2=1:AE
   PinakasParametron1(AS1*(i2-1)+1:AS1*i2,:)=PinakasParametron; %Τώρα κάθε
είσοδος έχει τις δικές της γραμμές για της παραμέτρους της
   end%end του i2
   PinakasParametron=PinakasParametron1;
else
end

if Sunartisi==1%Συνάρτηση gaussiani
%f=0;%Μετρητής για αποθήκευση του E σε κάθε επανάληψη
for f1=1:AEpan %Για κάθε επανάληψη
   thEthm;% Εύρεση μερικών παραγώγων thEthm
   thEths;% Εύρεση μερικών παραγώγων thEths
   thEthw;% Εύρεση μερικών παραγώγων thEthw
   PinakasParametron(:,1)=PinakasParametron(:,1)-np*thEthmPinakas;
   PinakasParametron(:,2)=PinakasParametron(:,2)-np*thEthsPinakas;
   PinakasBaron=PinakasBaron-nc*thEthwPinakas;
   degff1;

   %%%Επανάληψη υπολογισμού εξόδων%%%%%%%%%%%%

numdata=size(pinakas3,1);% Ο αριθμός των δεδομένων
numkan=AS1^AE;%Ο αριθμός των κανόνων

%Υπολογισμός των g
for i=1:numdata% Για κάθε δεδομένο
```

```
   teis=ones(AE+1,1);%Ορισμός του teis
   teis(2:AE+1,1)=pinakas3(i,2:AE+1)';%Το teis τώρα έχει τη μορφή [1 u1
u2...um]'
   for q=1:numkan%Για κάθε κανόνα

      for r=1:AEK %Για κάθε έξοδο
         gkanonon(((i-1)*numkan)+q,r)=PinakasBaron(q,((r-
1)*(AE+1))+1:r*(AE+1))*teis;
      end%end του r

   end% end του q

end% end του i


% 2)Υπολογισμός των y
for i=1:numdata% Για κάθε δεδομένο
   for r=1:AEK% Για κάθε έξοδο
      y1(((i-1)*AEK)+r,1)=(gkanonon(((i-1)*numkan)+1:i*numkan,r)'*degf(((i-
1)*numkan)+1:i*numkan,1))/...
         sum(degf(((i-1)*numkan)+1:i*numkan,1));
   end%end του r

end%end του i

%Αναδιάταξη των y στη μορφή:μια στήλη για κάθε έξοδο, μια γραμμή για κάθε
δεδομένο
for h=1:AEK %Για κάθε έξοδο
   for h1=1:numdata %Για κάθε δεδομένο
        y(h1,h)=y1((h1-1)*AEK+h,1);%Αναδιάταξη
   end%end του h1
end%end του h

%Διαδικασία αποκανονικοποίησης των εξόδων
upper=1;
lower=-1;
for q5=1:AEK %Για κάθε έξοδο
    max1=max(pinakas2(:,1+AE+q5));%Πραγματικό μέγιστο της q5 εξόδου
    min1=min(pinakas2(:,1+AE+q5));%Πραγματικό ελάχιστο της q5 εξόδου
    for k5=1:numdata
```

```
       yapok(k5,q5)=((max1-min1)*y(k5,q5)+(upper*min1-lower*max1))/(upper-
lower);
    end%end του k5
end%end του q5

%Υπολογισμός του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (Mean Squared Error, MSE)
t100=0;%Εδώ θα αποθηκεύονται τα αθροίσματα του E
for k1=1:numdata %Για κάθε δεδομένο
   for k2=1:AEK %Για κάθε έξοδο
      t100=t100+(pinakas2(k1,AE+1+k2)-yapok(k1,k2))^2;
   end%end του k2
end%end του k1
%f=f+1;%Αύξηση του μετρητή κατά 1
%Eepan(f)=E;% Αποθήκευση του E της προηγούμενης επανάληψης στον πίνακα
Eepan
Eepan(f1)=E;% Αποθήκευση του E της προηγούμενης επανάληψης στον πίνακα
Eepan
E=(1/numdata)*t100;% Το E αυτής της επανάληψης

if E<0.001
   break;
   end
end% end του for f1
else
   %Εδώ για τριγωνική
end%end του if Sunartisi
```

3.2.10 Αρχείο upek2.m

Στο αρχείο αυτό πραγματοποιείται η εκπαίδευση του μοντέλου όταν ο χρήστης έχει επιλέξει μη πλήρη βάση κανόνων.

```
% 1)Υπολογισμός των g
numdata=size(pinakas3,1);%Ο αριθμός των δεδομένων
numkan=size(kanones,1);%Ο αριθμός των κανόνων
for i=1:numdata% Για κάθε δεδομένο
```

```
   teis=ones(AE+1,1);%Ορισμός του teis
   teis(2:AE+1,1)=pinakas3(i,2:AE+1)';%Το teis τώρα έχει τη μορφή [1 u1
u2...um]'
   for q=1:numkan %Για κάθε κανόνα
      for r=1:AEK %Για κάθε έξοδο
            gkanonon(((i-1)*numkan)+q,r)=PinakasBaron(q,((r-
1)*(AE+1))+1:r*(AE+1))*teis;
      end%end του r

   end% end του q

end% end του i


% 2)Υπολογισμός των y
for i=1:numdata %Για κάθε δεδομένο
   for r=1:AEK% Για κάθε έξοδο

      y1(((i-1)*AEK)+r,1)=(gkanonon(((i-1)*numkan)+1:i*numkan,r)'*degf(((i-
1)*numkan)+1:i*numkan,1))/...
         sum(degf(((i-1)*numkan)+1:i*numkan,1));
   end%end του r

end%end του i

%Αναδιάταξη των y στη μορφή:μια στήλη για κάθε έξοδο, μια γραμμή για κάθε
δεδομένο
for h=1:AEK %Για κάθε έξοδο
   for h1=1:numdata %Για κάθε δεδομένο
        y(h1,h)=y1((h1-1)*AEK+h,1);%Αναδιάταξη
   end%end του h1
end%end του h

%Διαδικασία αποκανονικοποίησης των εξόδων
upper=1;
lower=-1;
for q5=1:AEK %Για κάθε έξοδο
    max1=max(pinakas2(:,1+AE+q5));%Πραγματικό μέγιστο της q5 εξόδου
    min1=min(pinakas2(:,1+AE+q5));%Πραγματικό ελάχιστο της q5 εξόδου

    for k5=1:numdata
```

```
       yapok(k5,q5)=((max1-min1)*y(k5,q5)+(upper*min1-lower*max1))/(upper-
lower);
    end%end του k5
end%end του q5


%Υπολογισμός του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (Mean Squared Error, MSE)
t100=0;%Εδώ θα αποθηκεύονται τα αθροίσματα του E
for k1=1:numdata %Για κάθε δεδομένο
   for k2=1:AEK %Για κάθε έξοδο
      t100=t100+(pinakas2(k1,AE+1+k2)-yapok(k1,k2))^2;
   end%end του k2
end%end του k1

E=(1/numdata)*t100;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

if Sunartisi==1%Συνάρτηση gaussiani

%f=0;%Μετρητής για αποθήκευση του E σε κάθε επανάληψη
for f1=1:AEpan%Για κάθε επανάληψη
   thEthm2;%Εύρεση μερικών παραγώγων thEthm
   thEths2;%Εύρεση μερικών παραγώγων thEths
   thEthw2;%Εύρεση μερικών παραγώγων thEthw
   PinakasParametron(:,1)=PinakasParametron(:,1)-np*thEthm2Pinakas;
   PinakasParametron(:,2)=PinakasParametron(:,2)-np*thEths2Pinakas;
   PinakasBaron=PinakasBaron-nc*thEthw2Pinakas;
   degff2;

   %%%Επανάληψη υπολογισμού εξόδων%%%%%%%%%%%%%%%

numdata=size(pinakas3,1);%Ο αριθμός των δεδομένων
numkan=size(kanones,1);%Ο αριθμός των κανόνων

%Υπολογισμός των g
for i=1:numdata %Για κάθε δεδομένο
   teis=ones(AE+1,1);%Ορισμός του teis
   teis(2:AE+1,1)=pinakas3(i,2:AE+1)';%Το teis τώρα έχει τη μορφή [1 u1
u2...um]'
   for q=1:numkan %Για κάθε κανόνα
```

```
        for r=1:AEK %Για κάθε έξοδο
          gkanonon(((i-1)*numkan)+q,r)=PinakasBaron(q,((r-
1)*(AE+1))+1:r*(AE+1))*teis;
      end%end του r

   end% end του q

end% end του i


% 2)Υπολογισμός των y
for i=1:numdata %Για κάθε δεδομένο
   for r=1:AEK %Για κάθε έξοδο
      y1(((i-1)*AEK)+r,1)=(gkanonon(((i-1)*numkan)+1:i*numkan,r)'*degf(((i-
1)*numkan)+1:i*numkan,1))/...
         sum(degf(((i-1)*numkan)+1:i*numkan,1));
   end%end του r

end%end του i

%Αναδιάταξη των y στη μορφή:μια στήλη για κάθε έξοδο, μια γραμμή για κάθε
δεδομένο
for h=1:AEK %Για κάθε έξοδο
   for h1=1:numdata %Για κάθε δεδομένο
        y(h1,h)=y1((h1-1)*AEK+h,1);%Αναδιάταξη
   end%end του h1
end%end του h

%Διαδικασία αποκανονικοποίησης των εξόδων
upper=1;
lower=-1;
for q5=1:AEK%Για κάθε έξοδο
    max1=max(pinakas2(:,1+AE+q5));%Πραγματικό μέγιστο της q5 εξόδου
    min1=min(pinakas2(:,1+AE+q5));%Πραγματικό ελάχιστο της q5 εξόδου
    for k5=1:numdata
       yapok(k5,q5)=((max1-min1)*y(k5,q5)+(upper*min1-lower*max1))/(upper-
lower);
    end%end του k5
end%end του q5

%Υπολογισμός του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος (Mean Squared Error, MSE)
```

```
t100=0;%Εδώ θα αποθηκεύονται τα αθροίσματα του E
for k1=1:numdata %Για κάθε δεδομένο
   for k2=1:AEK %Για κάθε έξοδο
      t100=t100+(pinakas2(k1,AE+1+k2)-yapok(k1,k2))^2;
   end%end του k2
end%end του k1
%f=f+1;%Αύξηση του μετρητή κατά 1
%Eepan(f)=E;% Αποθήκευση του E της προηγούμενης επανάληψης στον πίνακα
Eepan
Eepan(f1)=E;% Αποθήκευση του E της προηγούμενης επανάληψης στον πίνακα
Eepan
E=(1/numdata)*t100;% Το E αυτής της επανάληψης

if E<0.001
   break;
   end

end% end του for f1
else
   %Εδώ για τριγωνική
end%end του if Sunartisi
```

3.2.11 Αρχείο thEthm.m

Το αρχείο αυτό υπολογίζει τις μερικές παραγώγους ως προς τα βάρη (θE/θm),για την περίπτωση της πλήρης βάσης

```
%%% Υπολογισμός των μερικών παραγώγων thE/thm, πλήρης βάση

thEthmPinakas=zeros(AS1*AE,1); % Ορισμός του πίνακα όπου θα αποθηκεύονται
οι μερικοί παράγωγοι
for i=1:AE % Για κάθε είσοδο
   for j=1:AS1 % Για κάθε ασαφές σύνολο
      t200=0; % Προσωρινή μεταβλητή αποθήκευσης
      for k=1:numdata % Για κάθε δεδομένο
         a200=sum(degf((k-1)*numkan+1:k*numkan,1)); % Το άθροισμα των
βαθμών εκπλήρωσης των κανόνων για το κ δεδομένο
         for r=1:AEK % Για κάθε έξοδο
```

```
            s200=0; % Προσωρινή μεταβλητή αποθήκευσης για τον τρίτο όρο του
γινομένου
            for n=1:numkan % Για κάθε κανόνα
               g200=gkanonon((k-1)*numkan+n,r)-y(k,r);
               d200=pinakas3(k,1+i)-PinakasParametron((i-1)*AS1+j,1);
               for j1=1:AS1
                   a100(1,j1)=GGamma(n,1,AS1*(i-1)+j1); % Τα gamma για τον
κανόνα n για την είσοδο i
                   b100(j1,1)=degp(AS1*(k-1)+j1,i); % οι βαθμοί συμμετοχής
i εισόδου σε κάθε ένα από τα ασαφή
                                                     % της για το k δεδομένο
               end % τέλος του j1
               e200=a100*b100; % Πολλαπλασιασμός διανυσμάτων
               s200=s200+(g200*degf((k-1)*numkan+n,1)*GGamma(n,1,AS1*(i-
1)+j)*degp(AS1*(k-1)+j,i)*d200*...
                    (1/(PinakasParametron(AS1*(i-1)+j,2))^2 )*(1/e200));
            end % Τέλος του n
            t200=t200+(pinakas3(k,AE+1+r)-y(k,r))*(1/a200)*s200;
         end % Τέλος του r
      end % Τέλος του k
      thEthmPinakas(AS1*(i-1)+j,1)=(-2)*(1/numdata)*t200;
   end % Τέλος του j
end % Τέλος του i
```

3.2.12 Αρχείο thEths.m

Το αρχείο αυτό υπολογίζει τις μερικές παραγώγους ως προς τα βάρη (θE/θs),για την περίπτωση της πλήρης βάσης

```
%%% Υπολογισμός των μερικών παραγώγων thE/ths, πλήρης βάση


thEthsPinakas=zeros(AS1*AE,1);% Ορισμός του πίνακα όπου θα αποθηκεύονται οι
μερικοί παράγωγοι
for i=1:AE % Για κάθε είσοδο
   for j=1:AS1 % Για κάθε ασαφές σύνολο
      t200=0; % Προσωρινή μεταβλητή αποθήκευσης
```

```
      for k=1:numdata % Για κάθε δεδομένο
         a200=sum(degf((k-1)*numkan+1:k*numkan,1)); % Το άθροισμα των
βαθμών εκπλήρωσης των κανόνων για το κ δεδομένο
        for r=1:AEK % Για κάθε έξοδο
            s200=0; % Προσωρινή μεταβλητή αποθήκευσης για τον τρίτο όρο του
γινομένου
            for n=1:numkan % Για κάθε κανόνα
               g200=gkanonon((k-1)*numkan+n,r)-y(k,r);
               d200=(pinakas3(k,1+i)-PinakasParametron((i-1)*AS1+j,1))^2;
               for j1=1:AS1
                   a100(1,j1)=GGamma(n,1,AS1*(i-1)+j1); % Τα gamma για τον
κανόνα n για την είσοδο i
                   b100(j1,1)=degp(AS1*(k-1)+j1,i); % Οι βαθμοί συμμετοχής
i εισόδου σε κάθε ένα από τα ασαφή
                                                     % της για το k δεδομένο
               end % Τέλος του j1
               e200=a100*b100; % Πολλαπλασιασμός διανυσμάτων
               s200=s200+(g200*degf((k-1)*numkan+n,1)*GGamma(n,1,AS1*(i-
1)+j)*degp(AS1*(k-1)+j,i)*d200*...
                    (1/(PinakasParametron(AS1*(i-1)+j,2))^3 )*(1/e200));
            end % Τέλος του n
            t200=t200+(pinakas3(k,AE+1+r)-y(k,r))*(1/a200)*s200;
         end % τέλος του r
      end % Τέλος του k
      thEthmPinakas(AS1*(i-1)+j,1)=(-2)*(1/numdata)*t200;
   end % Τέλος του j
end % Τέλος του i
```

3.2.13 Αρχείο thEthw.m

Το αρχείο αυτό υπολογίζει τις μερικές παραγώγους ως προς τα βάρη (θE/θw),για την περίπτωση της πλήρης βάσης

```
%%% Υπολογισμός των μερικών παραγώγων thE/thw, πλήρης βάση

[q10,q20]=size(PinakasBaron);
```

```
thEthwPinakas=zeros(q10,q20); % Ορισμός του πίνακα αποθήκευσης των μερικών
παραγώγων

for i=1:numkan % Για κάθε κανόνα
   for r=1:AEK % Για κάθε έξοδο
      for j=0:AE % Για κάθε είσοδο + σταθερό όρο
         t200=0; % Προσωρινή μεταβλητή αποθήκευσης
         for k=1:numdata % Για κάθε δεδομένο
             a200=sum(degf((k-1)*numkan+1:k*numkan,1)); % Το άθροισμα των
βαθμών εκπλήρωσης των κανόνων για το κ δεδομένο
             if j==0 % Σταθερός όρος
                t200=t200+(pinakas3(k,AE+1+r)-
y(k,r))*(1/a200)*degf(numkan*(k-1)+i,1);
             else % j=1..AE
                t200=t200+(pinakas3(k,AE+1+r)-
y(k,r))*(1/a200)*degf(numkan*(k-1)+i,1)*pinakas3(k,j+1);
             end % τέλος του if j

         end % Τέλος του k

         thEthwPinakas(i,(AE+1)*(r-1)+(j+1))=(-2)*(1/numdata)*t200;

      end % Τέλος του j
   end % Τέλος του r
end % Τέλος του  i
```

3.2.14 Αρχείο thEthm2.m

Το αρχείο αυτό υπολογίζει τις μερικές παραγώγους ως προς τα βάρη (θE/θm), για την περίπτωση της μη πλήρης βάσης

```
%%% Υπολογισμός των μερικών παραγώγων thE/thm, μη πλήρης βάση


thEthm2Pinakas=zeros(sum(ArAs),1);% Ορισμός του πίνακα όπου θα
αποθηκεύονται οι μερικοί παράγωγοι
d11=0;
for i=1:AE % Για κάθε είσοδο
```

```
   for j=1:ArAs(i) % Για κάθε ασαφές σύνολο
      d11=d11+1; % Χαρακτηρισμός κάθε ασαφούς
      t200=0; % Προσωρινή μεταβλητή αποθήκευσης
      for k=1:numdata % Για κάθε δεδομένο
         a200=sum(degf((k-1)*numkan+1:k*numkan,1)); % Το άθροισμα των
βαθμών εκπλήρωσης των κανόνων για το κ δεδομένο
         for r=1:AEK % Για κάθε έξοδο
            s200=0; % Προσωρινή μεταβλητή αποθήκευσης για τον τρίτο όρο του
γινομένου
            for n=1:numkan % Για κάθε κανόνα
               g200=gkanonon((k-1)*numkan+n,r)-y(k,r);
               d200=pinakas3(k,1+i)-PinakasParametron(d11,1);
               for j1=1:ArAs(i)
                  if i==1
                     a100(1,j1)=GGamma(n,1,j1); % Τα gamma για τον κανόνα n
για την είσοδο i
                     b100(j1,1)=degp((j1-1)*numdata+k,1);  % Οι βαθμοί
συμμετοχής i εισόδου σε κάθε ένα από τα ασαφή
                                                            % της για το k
δεδομένο
                  else
                     a100(1,j1)=GGamma(n,1,sum(ArAs(1:i-1))+j1);
                     b100(j1,1)=degp(sum(ArAs(1:i-1))*numdata+(j1-
1)*numdata+k,1);
                  end % Τέλος του if i==1

               end % Τέλος του j1
               e200=a100*b100; % Πολλαπλασιασμός διανυσμάτων
               if i1==1
                  v200=degp((j-1)*numdata+k,1);
               else
                  v200=degp(sum(ArAs(1:i-1))*numdata+(j-1)*numdata+k,1);
               end % Τέλος του  i1

               s200=s200+(g200*degf((k-
1)*numkan+n,1)*GGamma(n,1,d11)*v200*d200*...
                     (1/(PinakasParametron(d11,2))^2 )*(1/e200));
            end % Τέλος του n
            t200=t200+(pinakas3(k,AE+1+r)-y(k,r))*(1/a200)*s200;
         end % Τέλος του r
      end % Τέλος του k
```

```
      thEthm2Pinakas(d11,1)=(-2)*(1/numdata)*t200;
   end % Τέλος του j
end % Τέλος του i
```

3.2.15 Αρχείο thEths2.m

Το αρχείο αυτό υπολογίζει τις μερικές παραγώγους ως προς τα βάρη (θE/θs), για την περίπτωση της μη πλήρης βάσης

```
%%% Υπολογισμός των μερικών παραγώγων thE/ths, μη πλήρης βάση



thEths2Pinakas=zeros(sum(ArAs),1); % Ορισμός του πίνακα όπου θα
αποθηκεύονται οι μερικοί παράγωγοι
d11=0;
for i=1:AE % Για κάθε είσοδο
   for j=1:ArAs(i) % Για κάθε ασαφές σύνολο
      d11=d11+1; % Χαρακτηρισμός κάθε ασαφούς
      t200=0; % Προσωρινή μεταβλητή αποθήκευσης
      for k=1:numdata % Για κάθε δεδομένο
         a200=sum(degf((k-1)*numkan+1:k*numkan,1)); % Το άθροισμα των
βαθμών εκπλήρωσης των κανόνων για το κ δεδομένο
         for r=1:AEK % Για κάθε έξοδο
            s200=0; % προσωρινή μεταβλητή αποθήκευσης για τον τρίτο όρο του
γινομένου
            for n=1:numkan % Για κάθε κανόνα
               g200=gkanonon((k-1)*numkan+n,r)-y(k,r);
               d200=(pinakas3(k,1+i)-PinakasParametron(d11,1))^2;
               for j1=1:ArAs(i)
                  if i==1
                     a100(1,j1)=GGamma(n,1,j1); % Τα gamma για τον κανόνα n
για την είσοδο i
                     b100(j1,1)=degp((j1-1)*numdata+k,1); % Οι βαθμοί
συμμετοχής i εισόδου σε κάθε ένα από τα ασαφή
                                                          % της για το k δεδομένο
                  else
```

```
                    a100(1,j1)=GGamma(n,1,sum(ArAs(1:i-1))+j1);
                    b100(j1,1)=degp(sum(ArAs(1:i-1))*numdata+(j1-
1)*numdata+k,1);
                 end % Τέλος του if i==1

              end % Τέλος του j1
              e200=a100*b100; % Πολλαπλασιασμός διανυσμάτων
              if i1==1
                 v200=degp((j-1)*numdata+k,1);
              else
                 v200=degp(sum(ArAs(1:i-1))*numdata+(j-1)*numdata+k,1);
              end % Τέλος του i10

              s200=s200+(g200*degf((k-
1)*numkan+n,1)*GGamma(n,1,d11)*v200*d200*...
                    (1/(PinakasParametron(d11,2))^3 )*(1/e200));
           end % Τέλος του n
           t200=t200+(pinakas3(k,AE+1+r)-y(k,r))*(1/a200)*s200;
        end % Τέλος του r
     end % Τέλος του k
     thEths2Pinakas(d11,1)=(-2)*(1/numdata)*t200;
  end % Τέλος του j
end % Τέλος του i
```

3.2.16 Αρχείο thEthw2.m

Το αρχείο αυτό υπολογίζει τις μερικές παραγώγους ως προς τα βάρη (θE/θw),για την περίπτωση της μη πλήρης βάσης

```
%%% Υπολογισμός των μερικών παραγώγων thE/thw, μη πλήρης βάση



[q10,q20]=size(PinakasBaron);
thEthw2Pinakas=zeros(q10,q20); % Ορισμός του πίνακα αποθήκευσης των μερικών
παραγώγων

for i=1:numkan % Για κάθε κανόνα
   for r=1:AEK % Για κάθε έξοδο
```

```
      for j=0:AE % Για κάθε είσοδο + σταθερό όρο
         t200=0; % Προσωρινή μεταβλητή αποθήκευσης
         for k=1:numdata % Για κάθε δεδομένο
             a200=sum(degf((k-1)*numkan+1:k*numkan,1)); % Το άθροισμα των
βαθμών εκπλήρωσης των κανόνων για το κ δεδομένο
             if j==0 % Σταθερός όρος
                t200=t200+(pinakas3(k,AE+1+r)-
y(k,r))*(1/a200)*degf(numkan*(k-1)+i,1);
             else %j=1..AE
                t200=t200+(pinakas3(k,AE+1+r)-
y(k,r))*(1/a200)*degf(numkan*(k-1)+i,1)*pinakas3(k,j+1);
             end % Τέλος του if j

         end % Τέλος του k

         thEthw2Pinakas(i,(AE+1)*(r-1)+(j+1))=(-2)*(1/numdata)*t200;

      end % Τέλος του j
   end % Τέλος του r
end % Τέλος του i
```

Κεφάλαιο 4

ΓΡΑΦΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

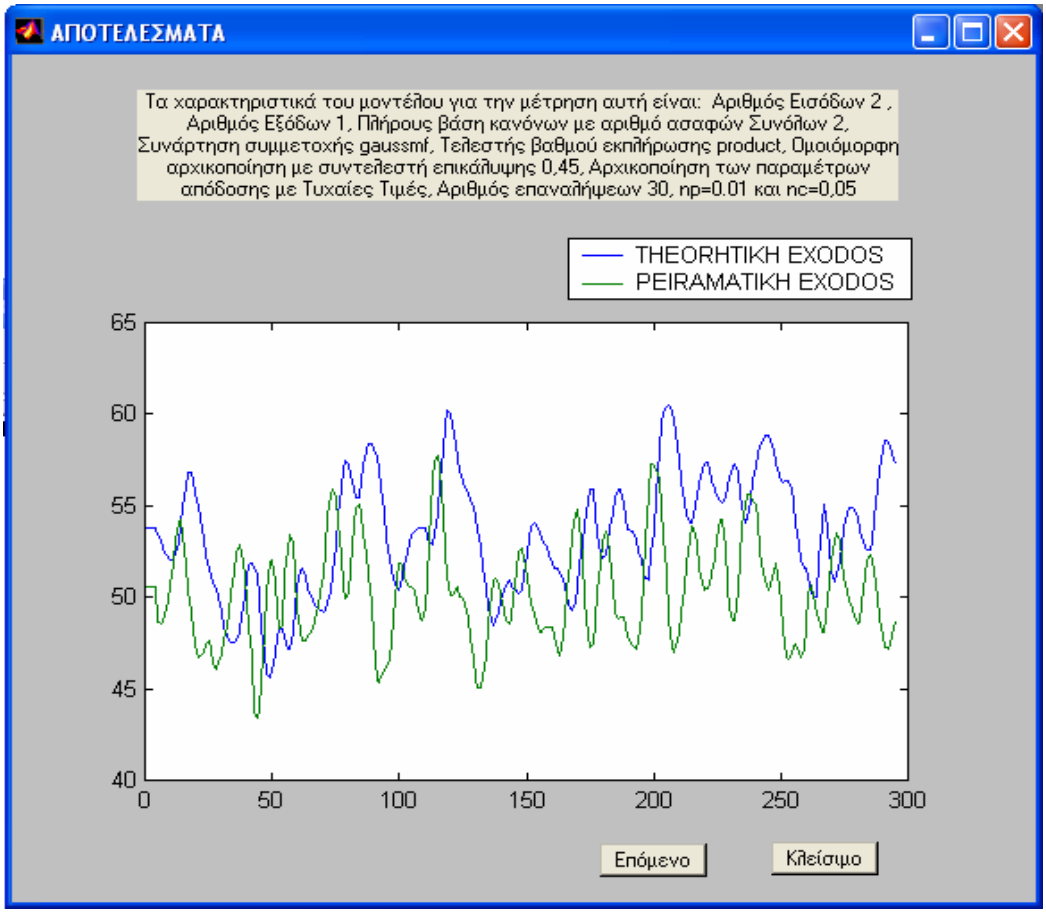
4.1 Γραφικά αποτελέσματα μετρήσεων για το σύνολο δεδομένων Box_Jenkins

Για να δούμε πως ακριβώς λειτουργεί το πρόγραμμά μας πήραμε 30 μετρήσεις, χρησιμοποιώντας το σύνολο δεδομένων box_jenkins και αλλάζοντας τα χαρακτηριστικά του μοντέλου μας σε κάθε μας μέτρηση πήραμε τα παρακάτω αποτελέσματα. Πληκτρολογώντας box_metrisi16 στο περιβάλλον εργασίας του Matlab(workspace του Matlab) εμφανίζεται το Σχήμα 1α ,το οποίο παρουσιάζει γραφική απεικόνιση των Θεωρητικών και Πειραματικών εξόδων της 1^{ης} μέτρησης. Στο σχήμα αυτό υπάρχουν πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά του μοντέλου και τις παραμέτρους εκπαίδευσης που επέλεξε ο χρήστης.

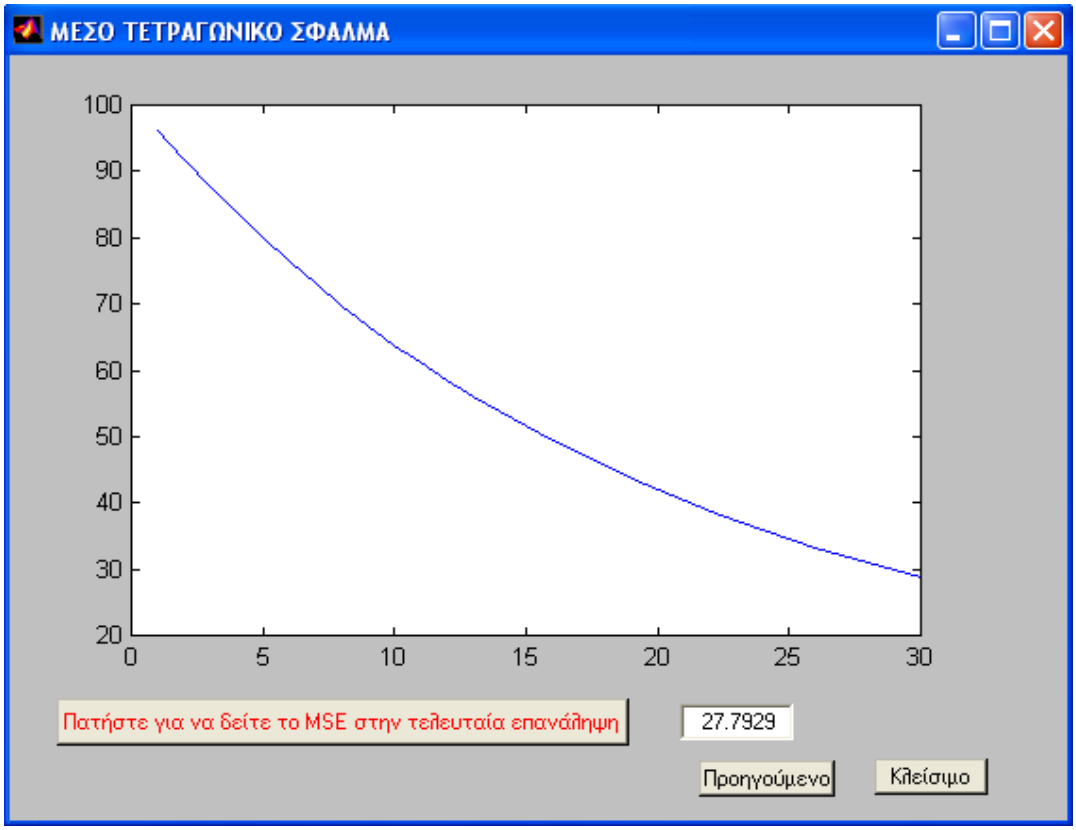
Πατώντας στη συνέχεια το πλήκτρο Επόμενο εμφανίζεται το Σχήμα 1β το οποίο παρουσιάζει γραφική απεικόνιση του Μέσου Τετραγωνικού Σφάλματος σε κάθε επανάληψη. Επιπλέον ο χρήστης μπορεί να δει πόσο ήταν το σφάλμα στην τελευταία επανάληψη. Πατώντας το πλήκτρο Προηγούμενο ο χρήστης μπορεί να επιστρέψει στη φόρμα του Σχήματος 1α. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και στις υπόλοιπες μετρήσεις.

4.1.1 Μέτρηση 1η

box_metrisi1



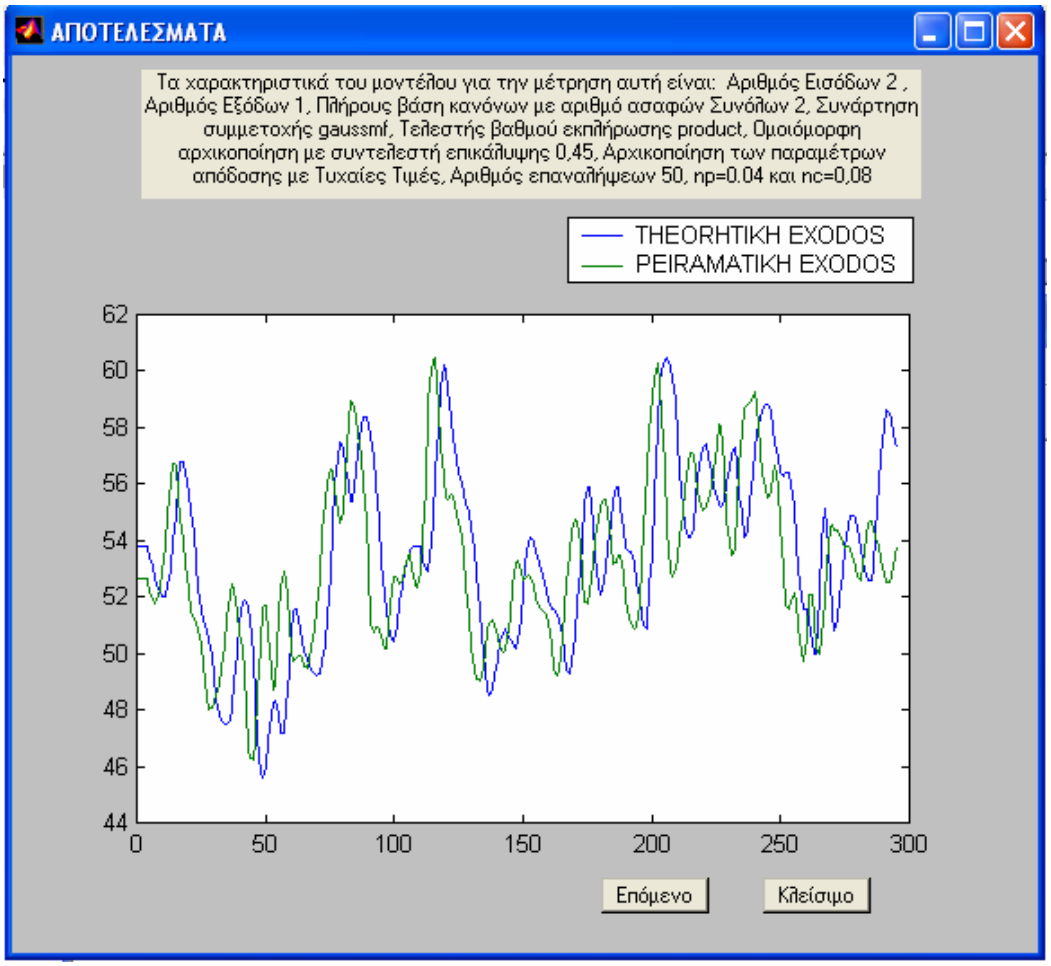
Σχήμα 1α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
0
5
10
15
20
25
30
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
27.7929
Προηγούμενο
Κλείσιμο

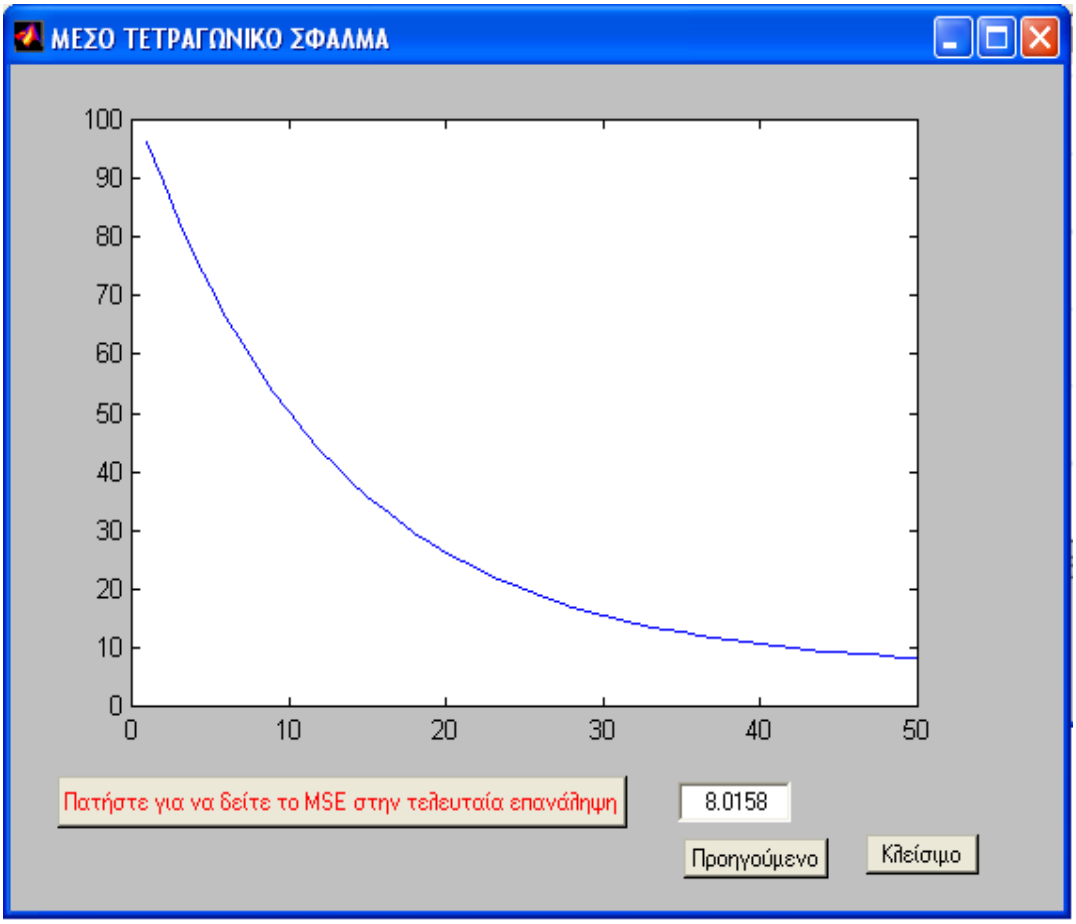
Σχήμα 1β

4.1.2 Μέτρηση 2η

box_metrisi2



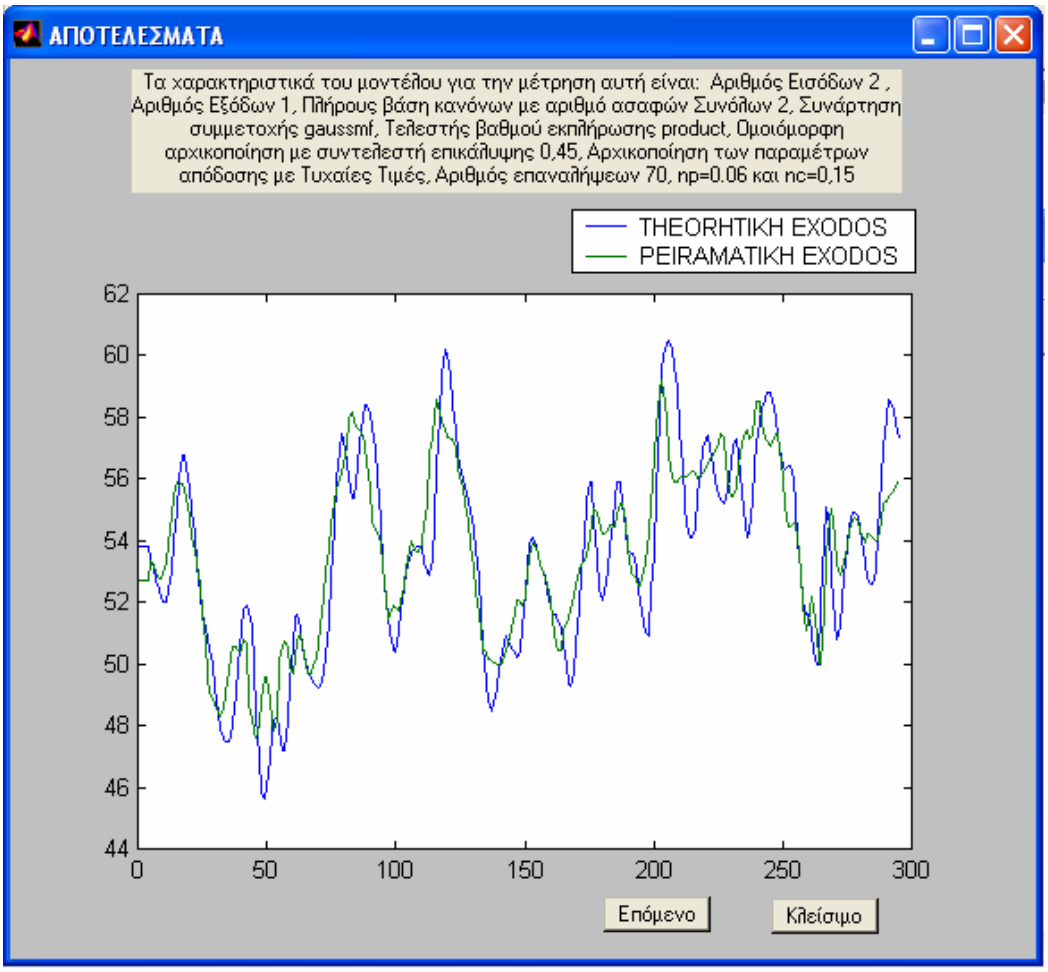
Σχήμα 2α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
8.0158
Προηγούμενο
Κλείσιμο

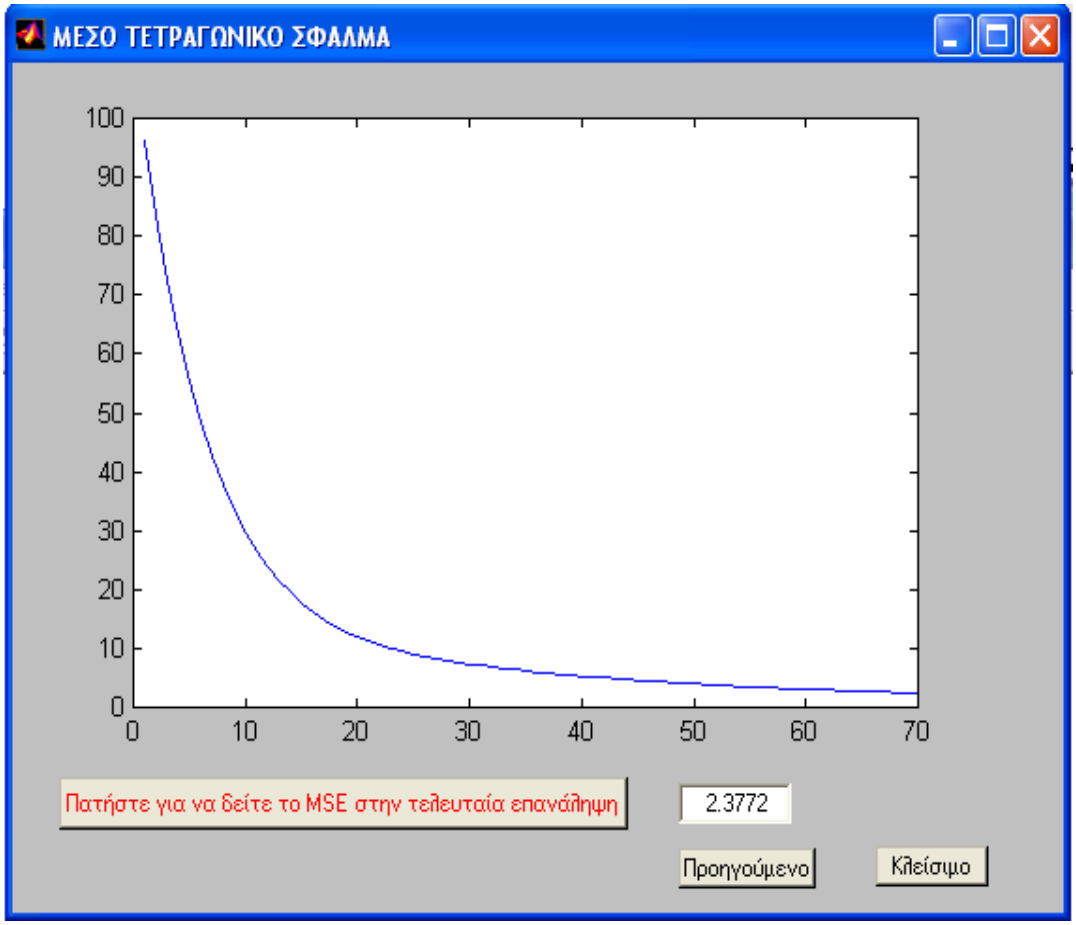
Σχήμα 2β

4.1.3 Μέτρηση 3η

box_metrisi3



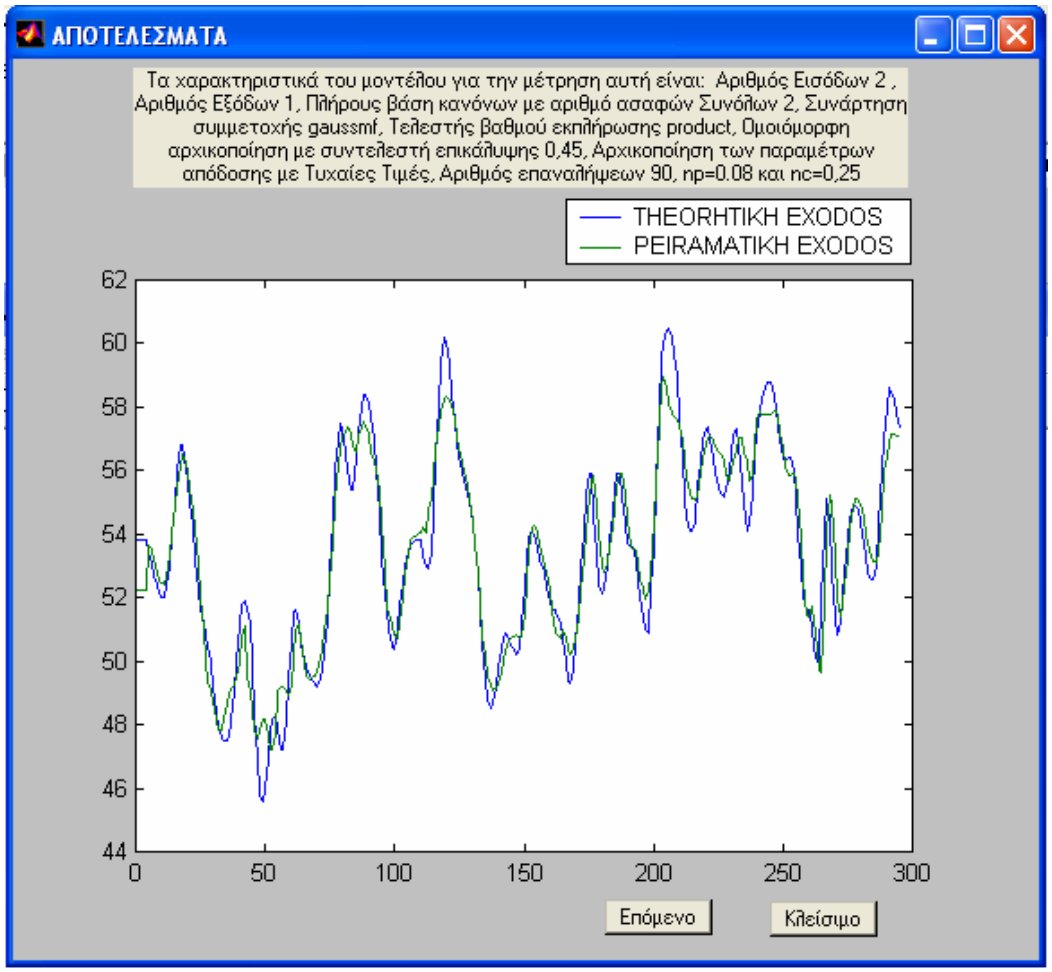
Σχήμα 3α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
70
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
2.3772
Προηγούμενο
Κλείσιμο

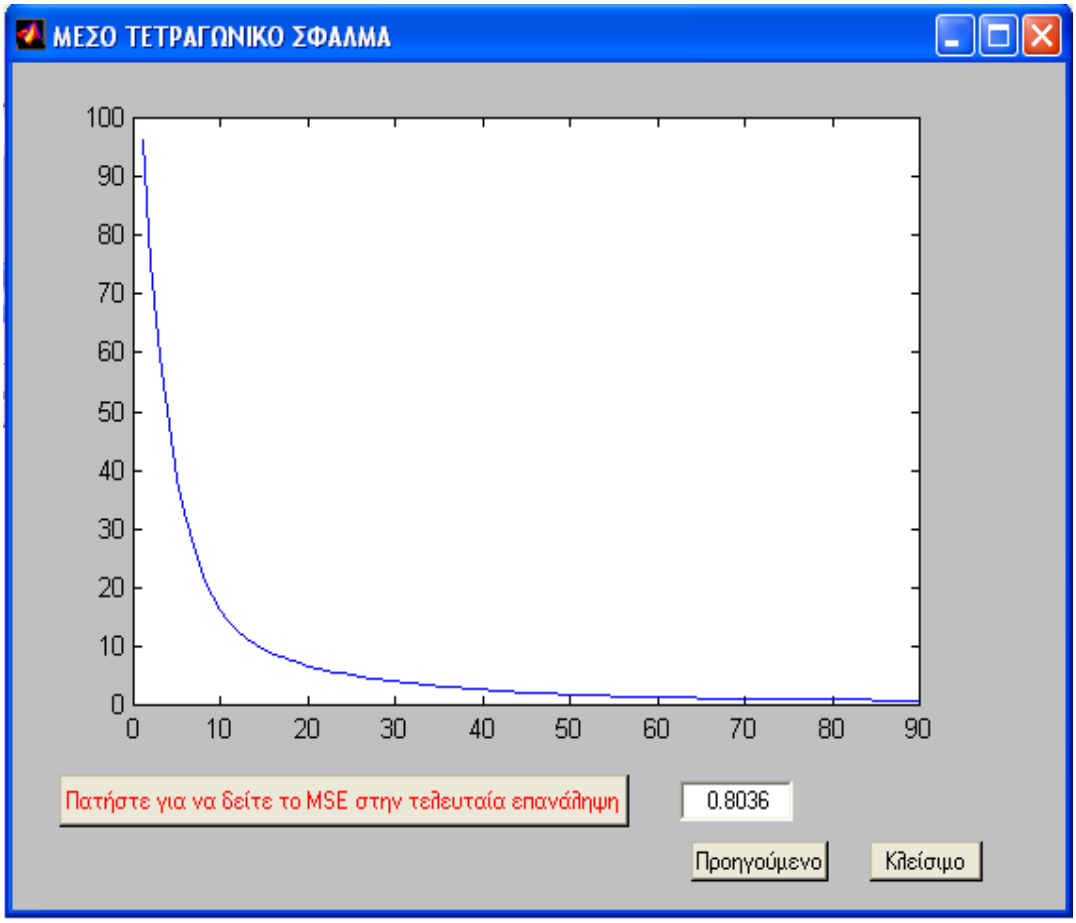
Σχήμα 3β

4.1.4 Μέτρηση 4η

box_metrisi4



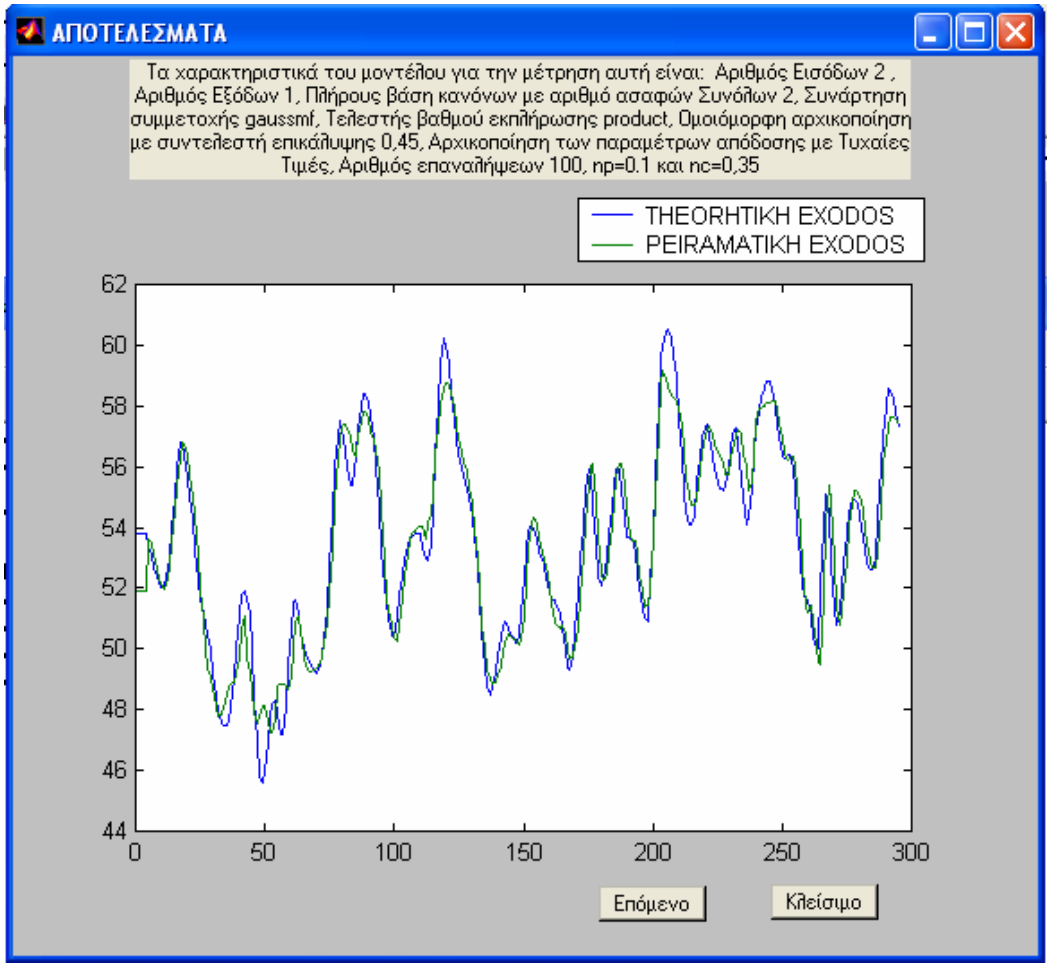
Σχήμα 4α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.8036
Προηγούμενο
Κλείσιμο

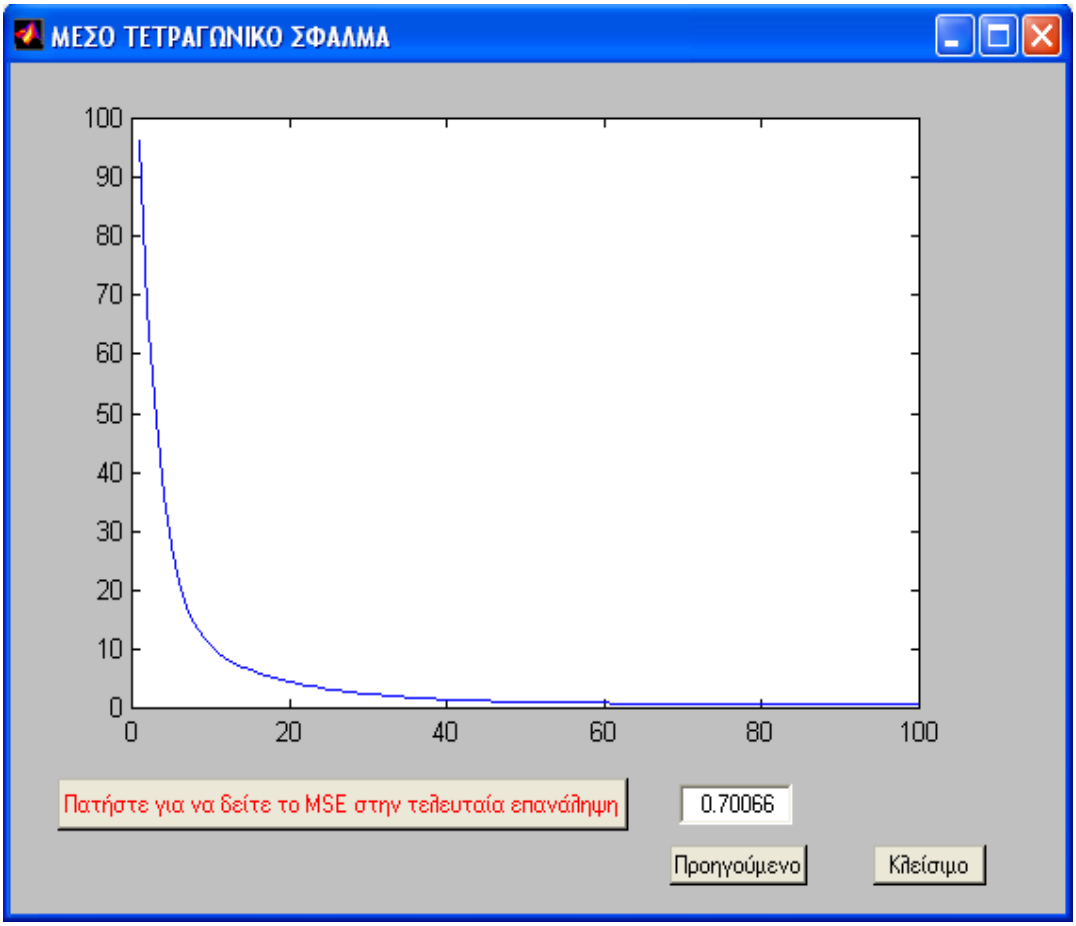
Σχήμα 4β

4.1.5 Μέτρηση 5η

box_metrisi5



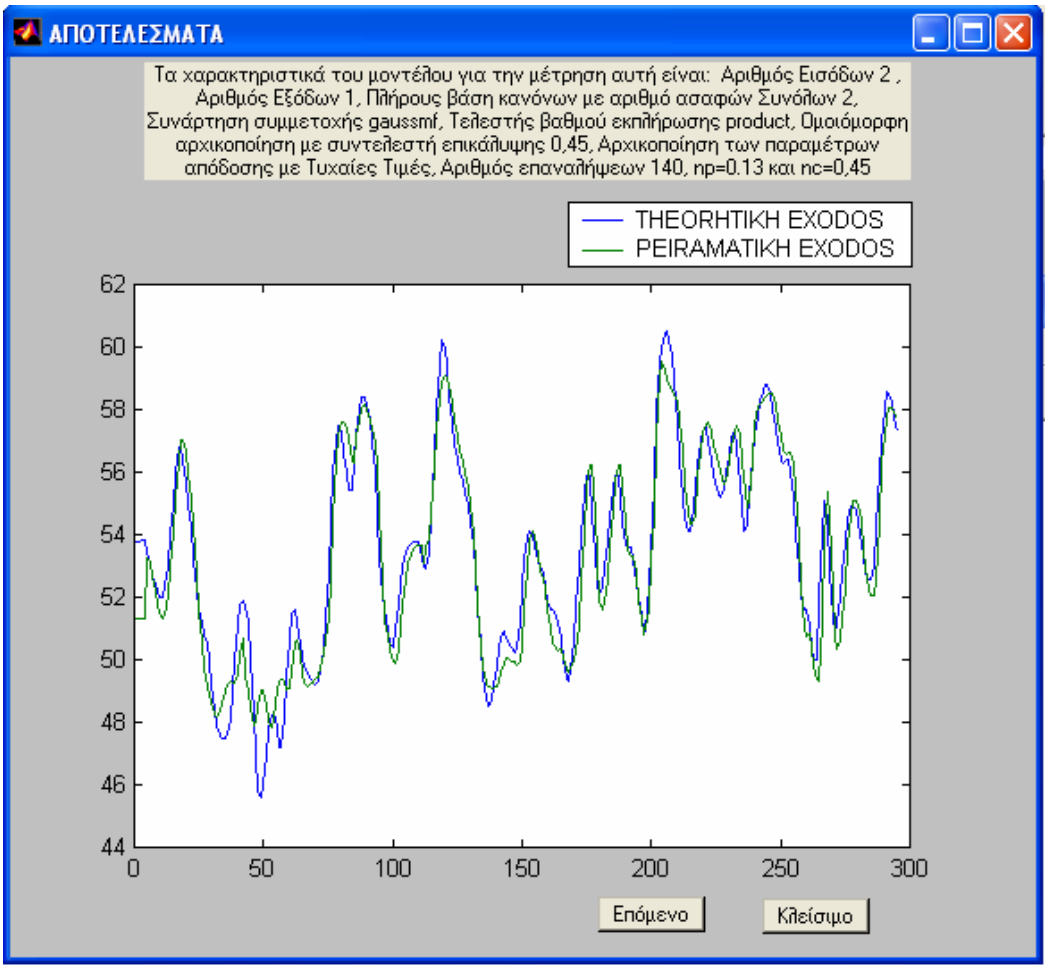
Σχήμα 5α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
20
40
60
80
100
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.70066
Προηγούμενο
Κλείσιμο

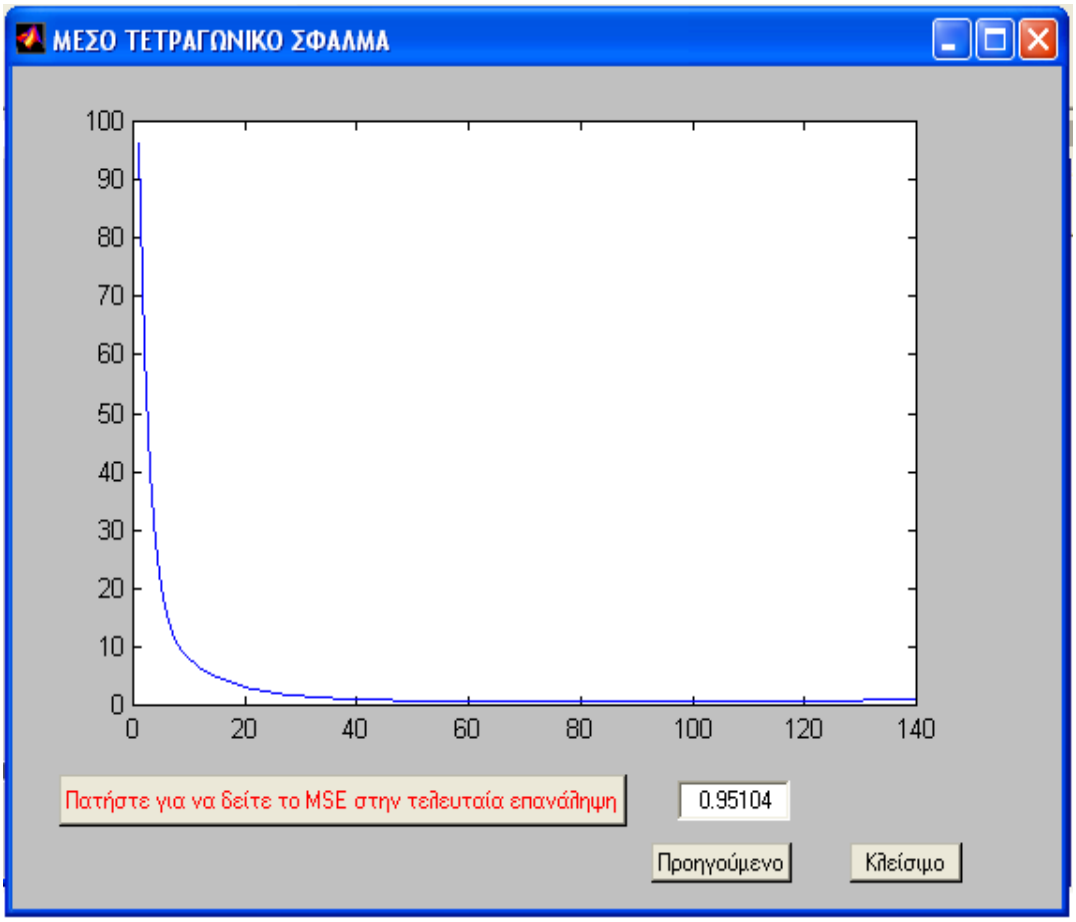
Σχήμα 5β

4.1.6 Μέτρηση 6η

box_metrisi6



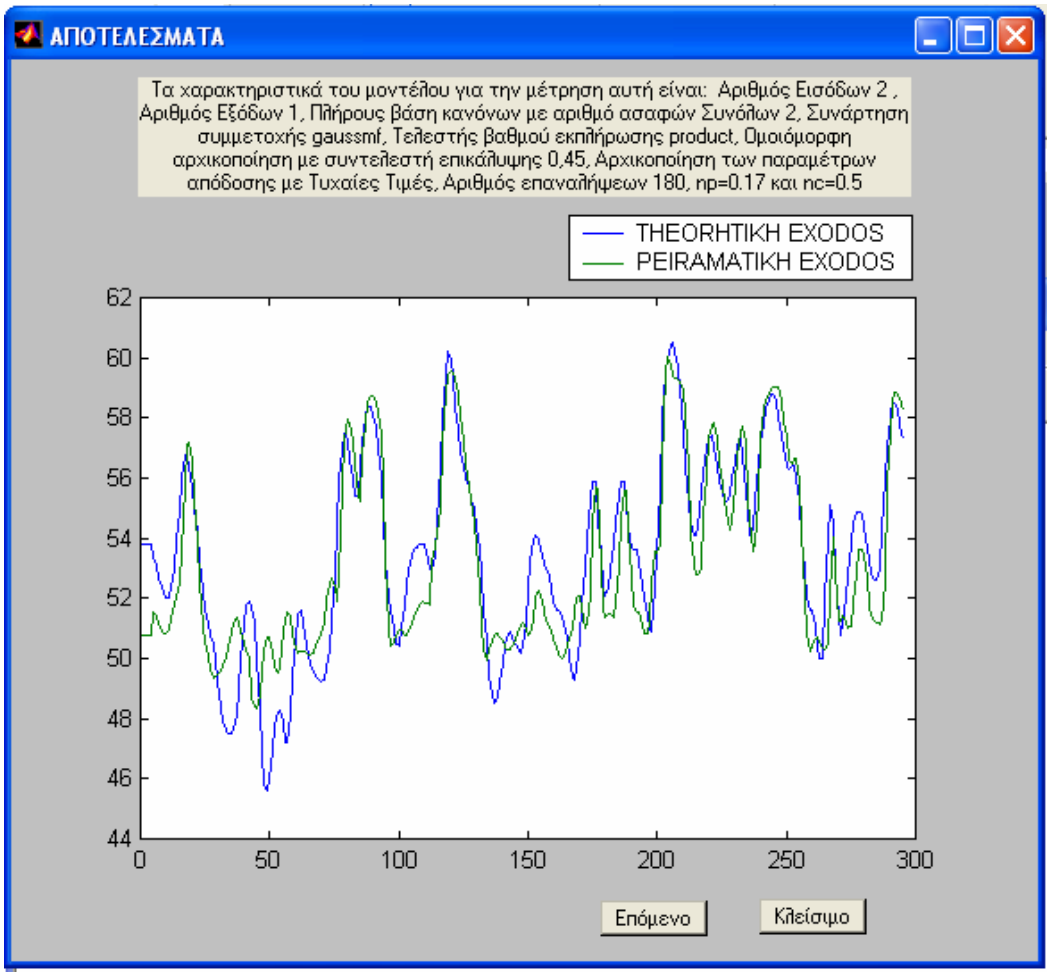
Σχήμα 6α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
20
40
60
80
100
120
140
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.95104
Προηγούμενο
Κλείσιμο

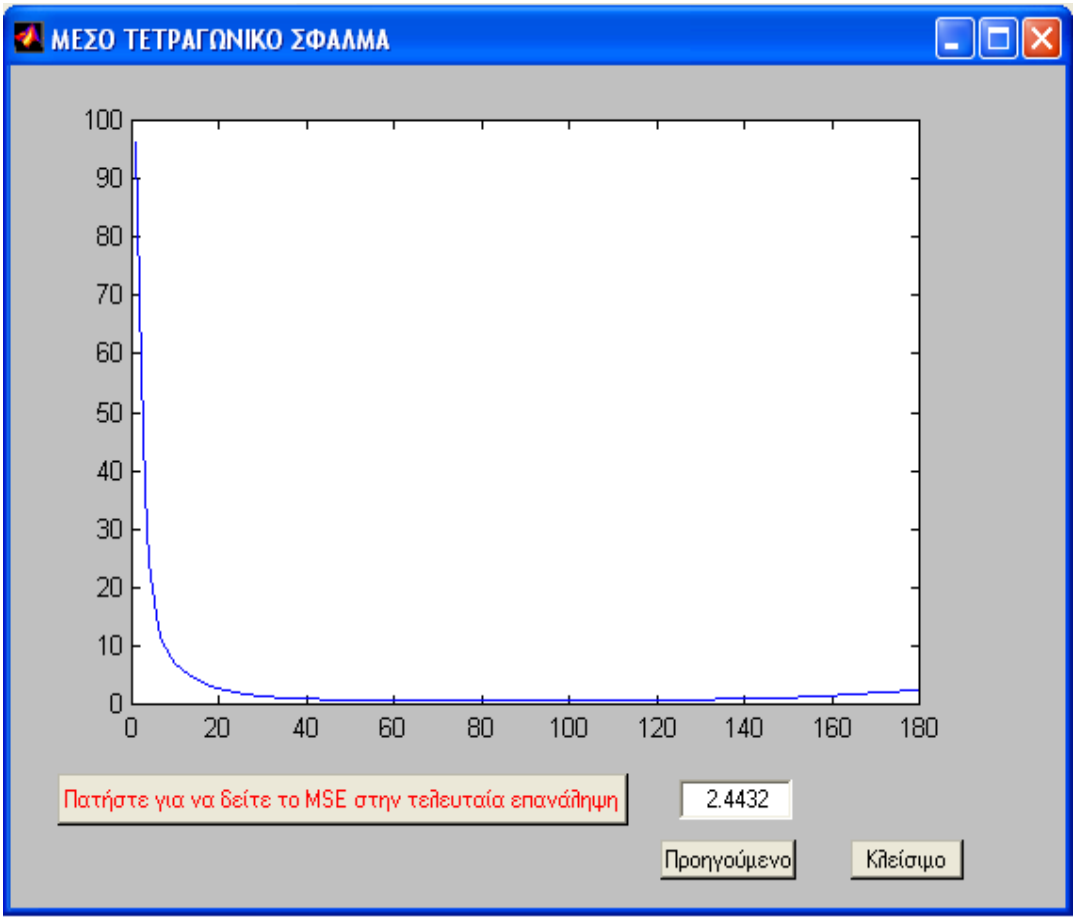
Σχήμα 6β

4.1.7 Μέτρηση 7η

box_metrisi7



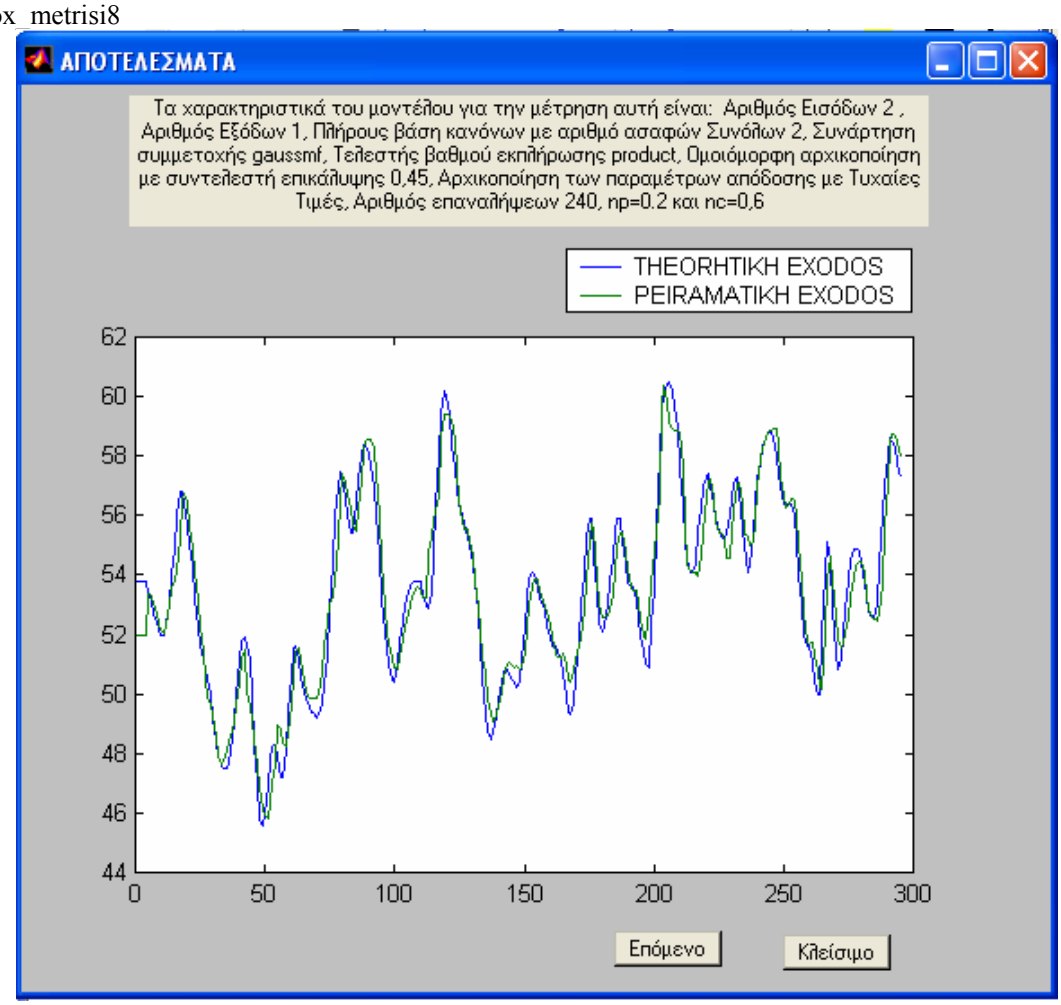
Σχήμα 7α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
2.4432
Προηγούμενο
Κλείσιμο

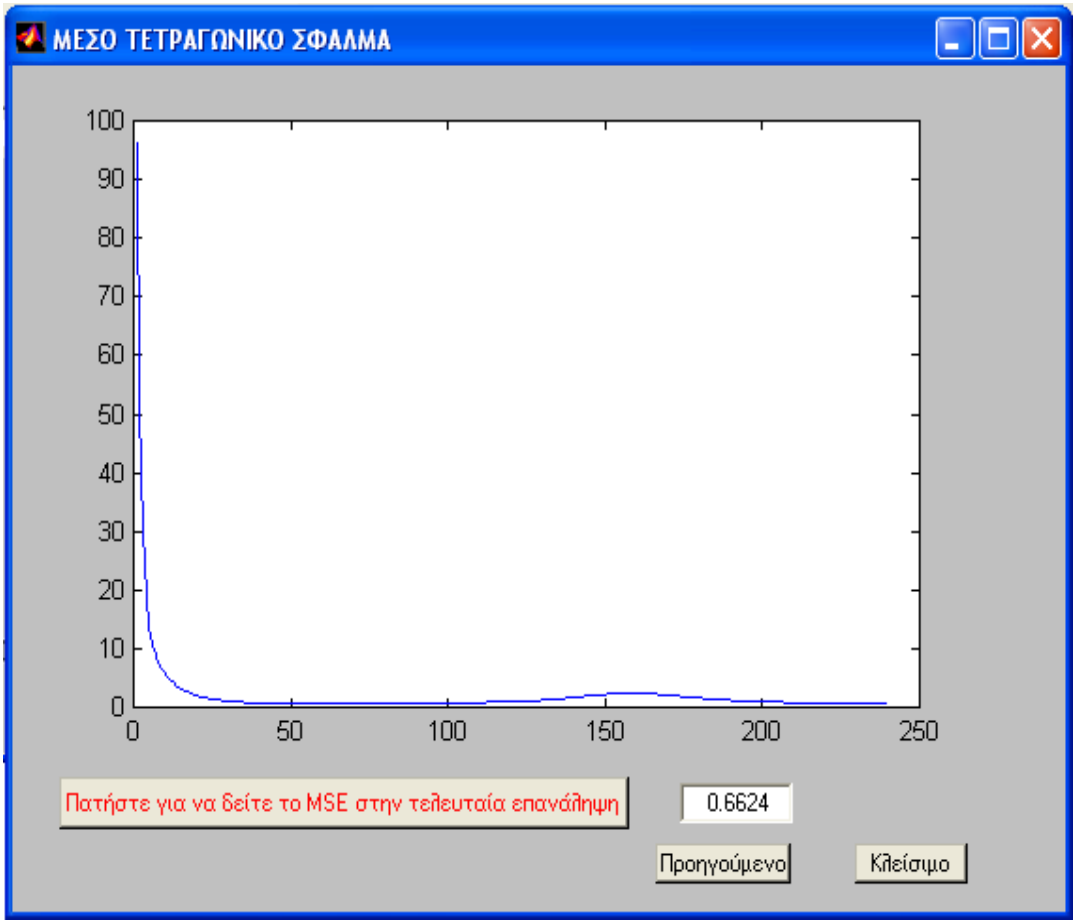
Σχήμα 7β

4.1.8 Μέτρηση 8η

box_metrisi8



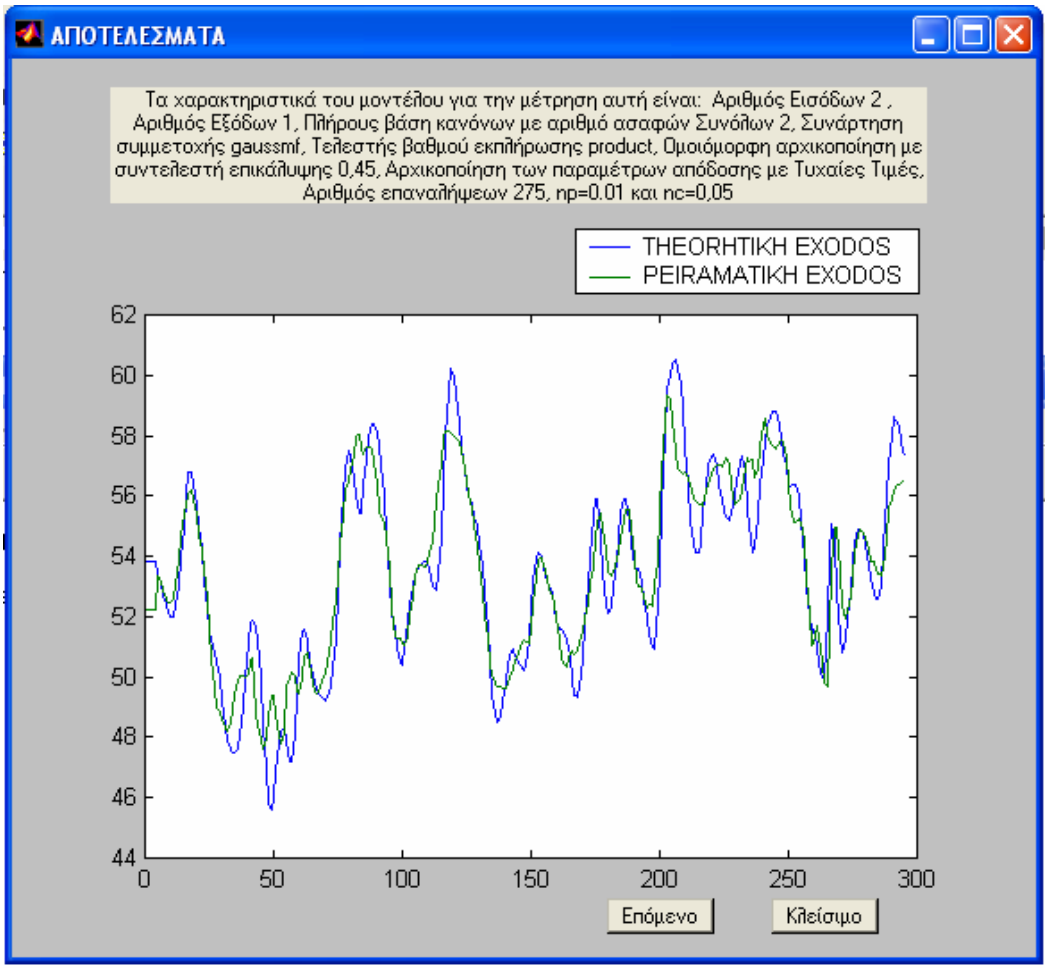
Σχήμα 8α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
50
100
150
200
250
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.6624
Προηγούμενο
Κλείσιμο

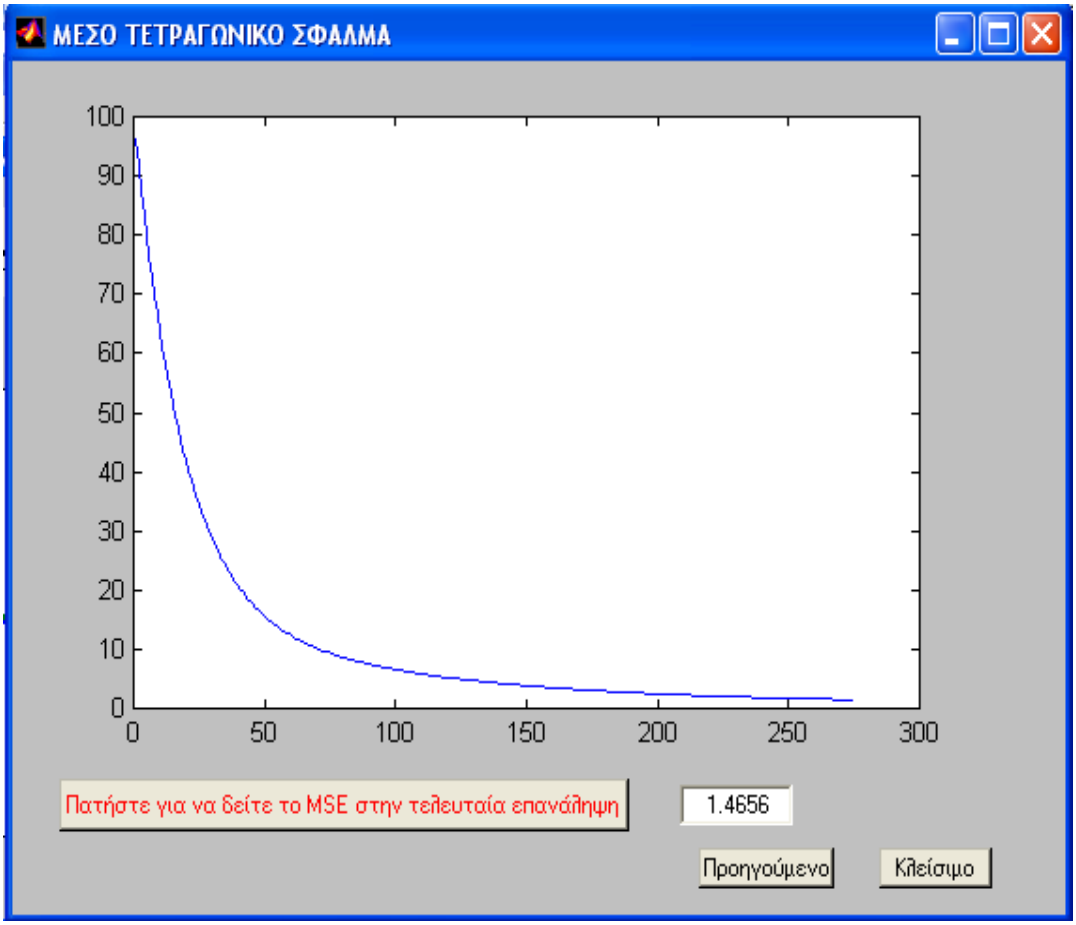
Σχήμα 8β

4.1.9 Μέτρηση 9η

box_metrisi9



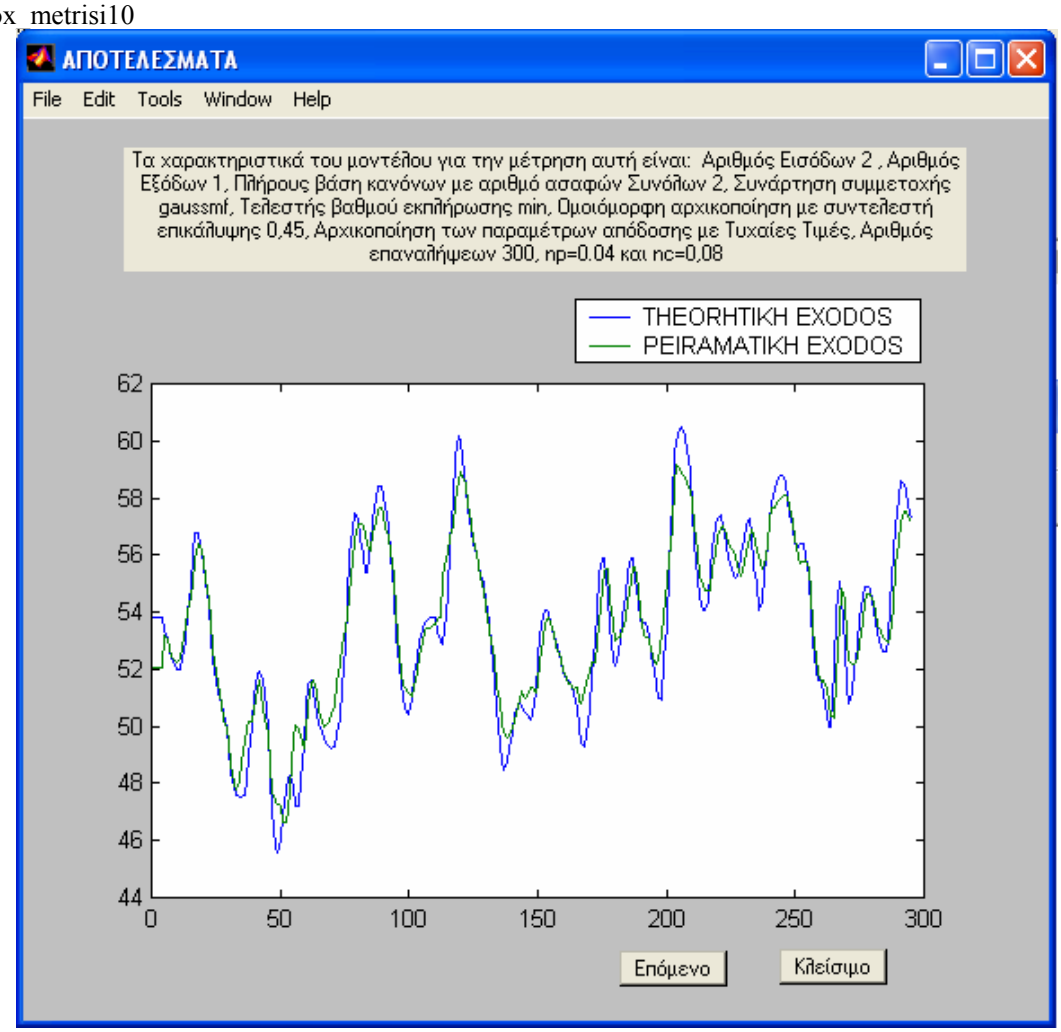
Σχήμα 9α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
50
100
150
200
250
300
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
1.4656
Προηγούμενο
Κλείσιμο

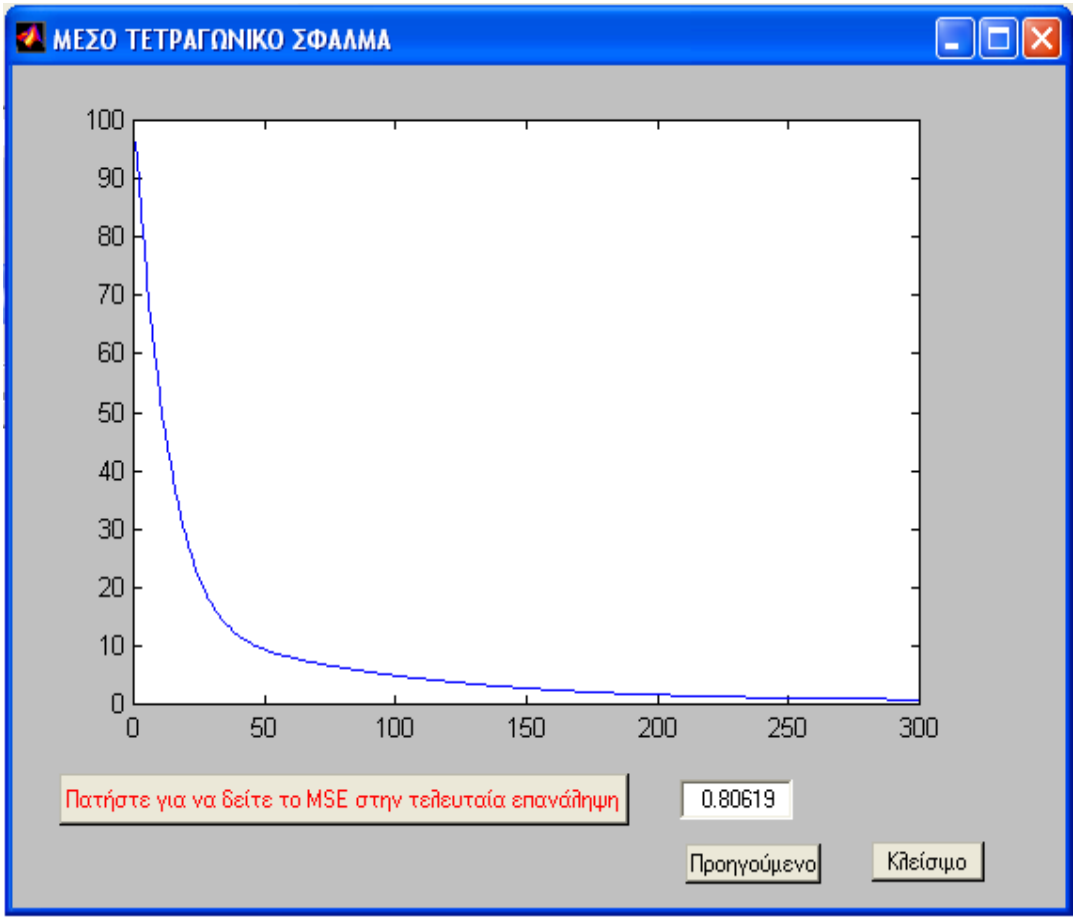
Σχήμα 9β

4.1.10 Μέτρηση 10η

box_metrisi10



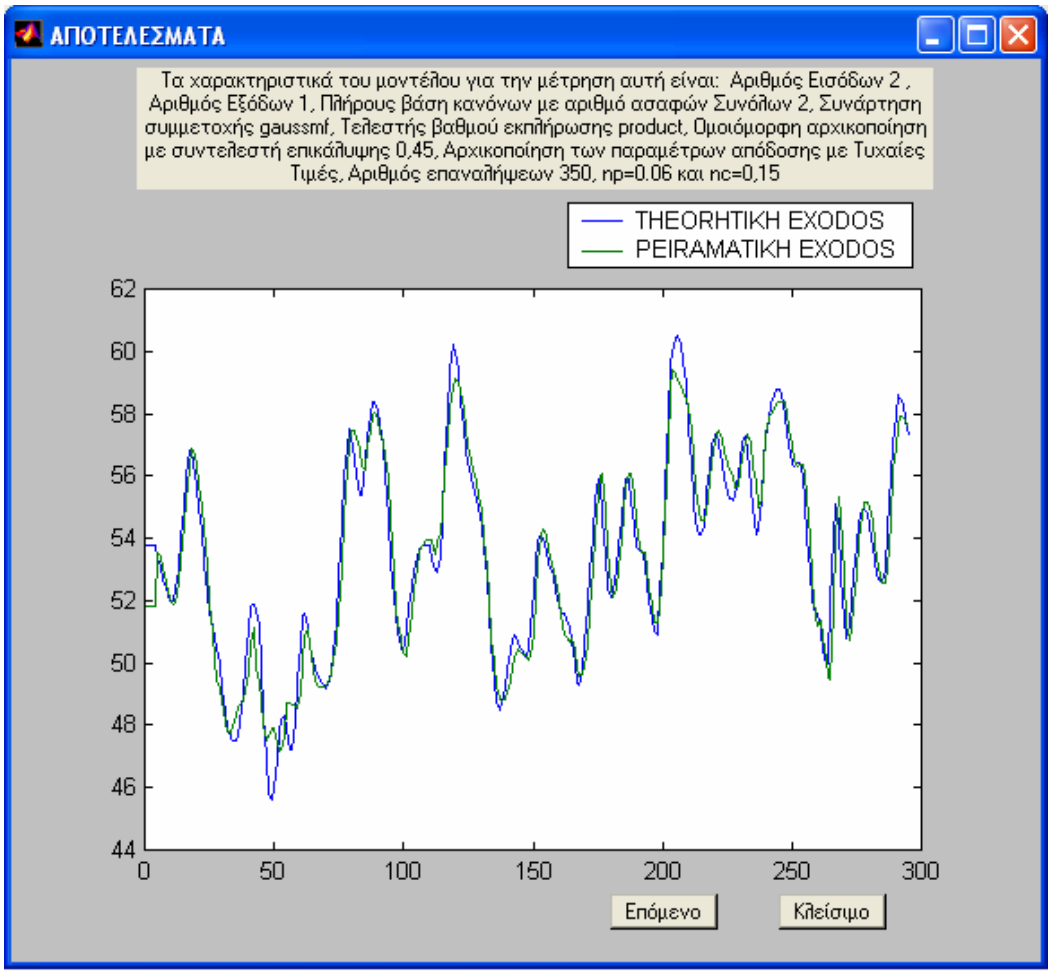
Σχήμα 10α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
50
100
150
200
250
300
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.80619
Προηγούμενο
Κλείσιμο

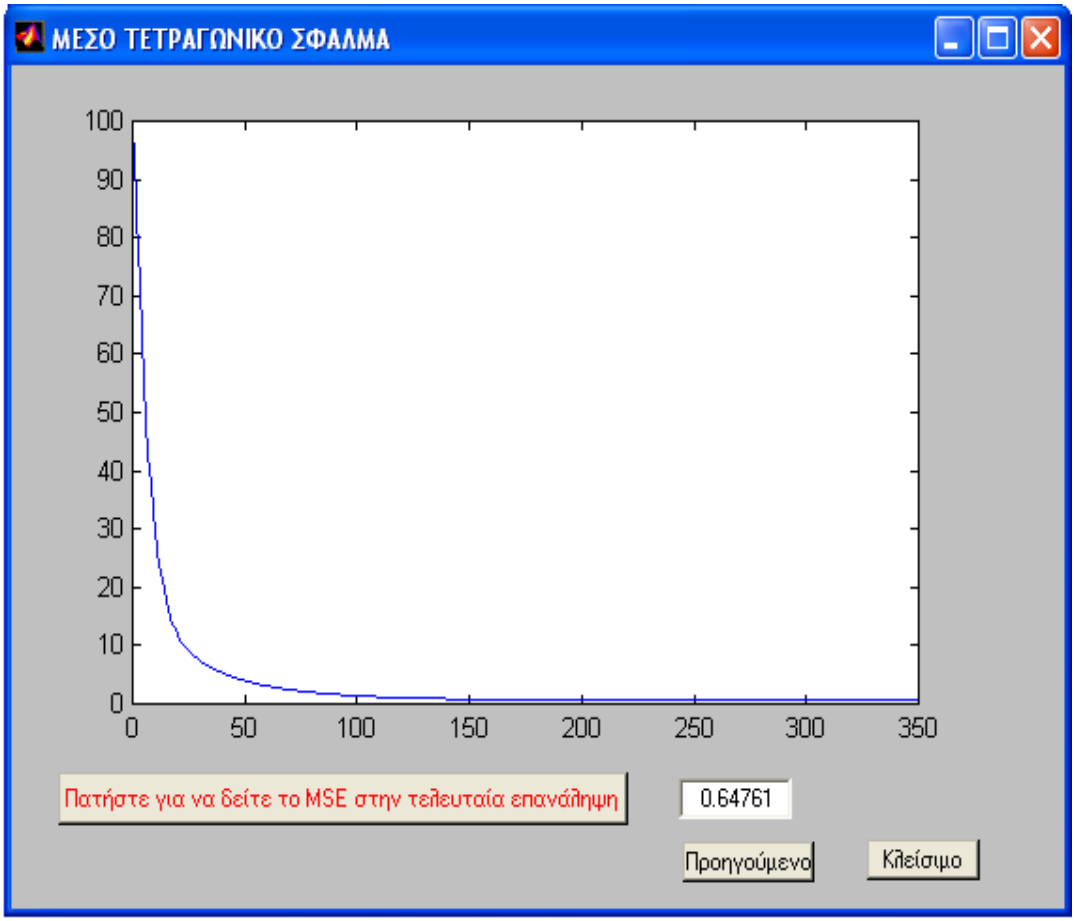
Σχήμα 10β

4.1.11 Μέτρηση 11η

box_metrisi11



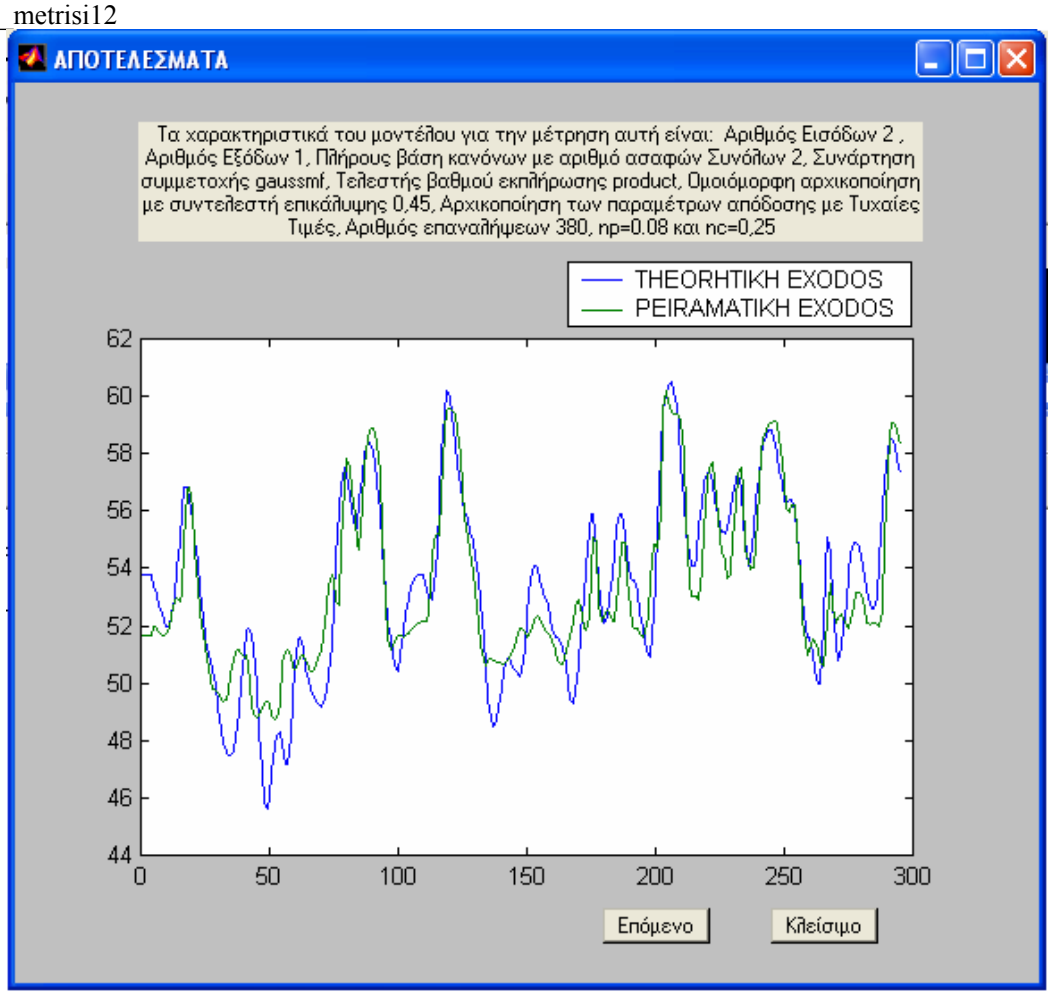
Σχήμα 11α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
50
100
150
200
250
300
350
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.64761
Προηγούμενο
Κλείσιμο

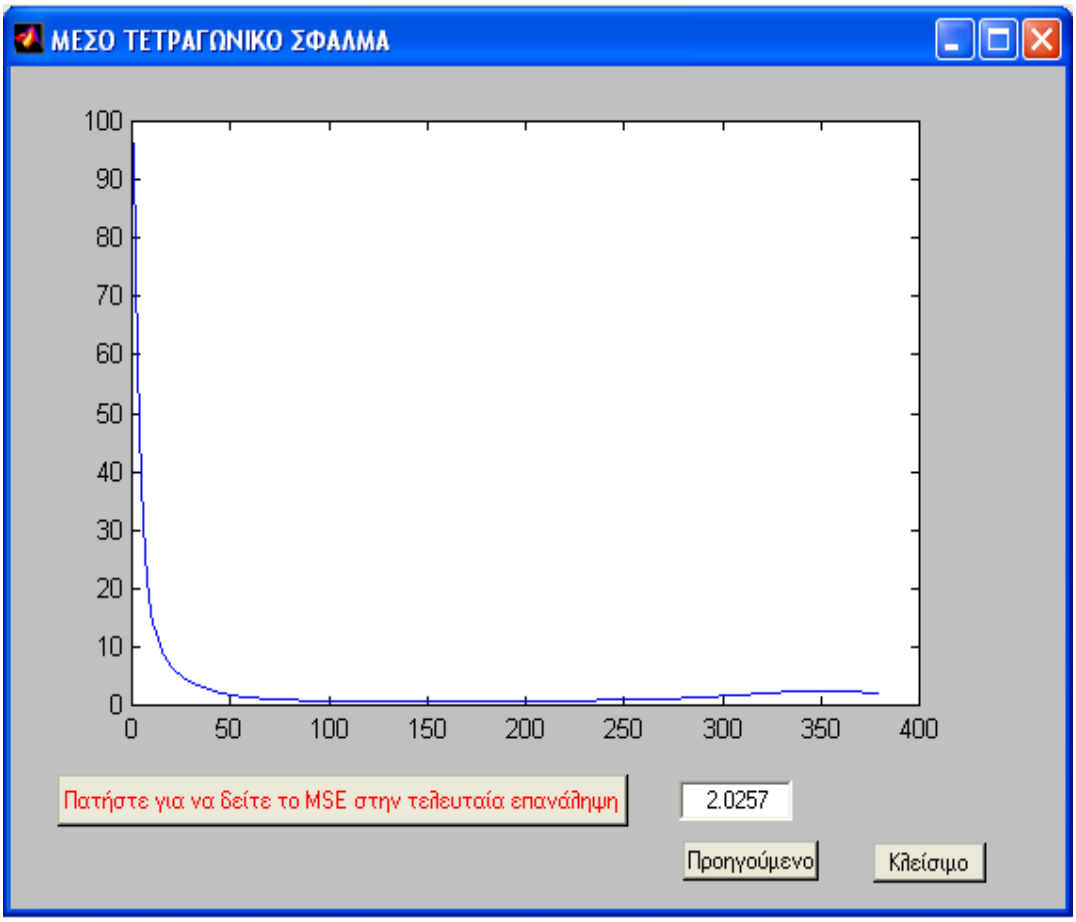
Σχήμα 11β

4.1.12 Μέτρηση 12η

box_metrisi12



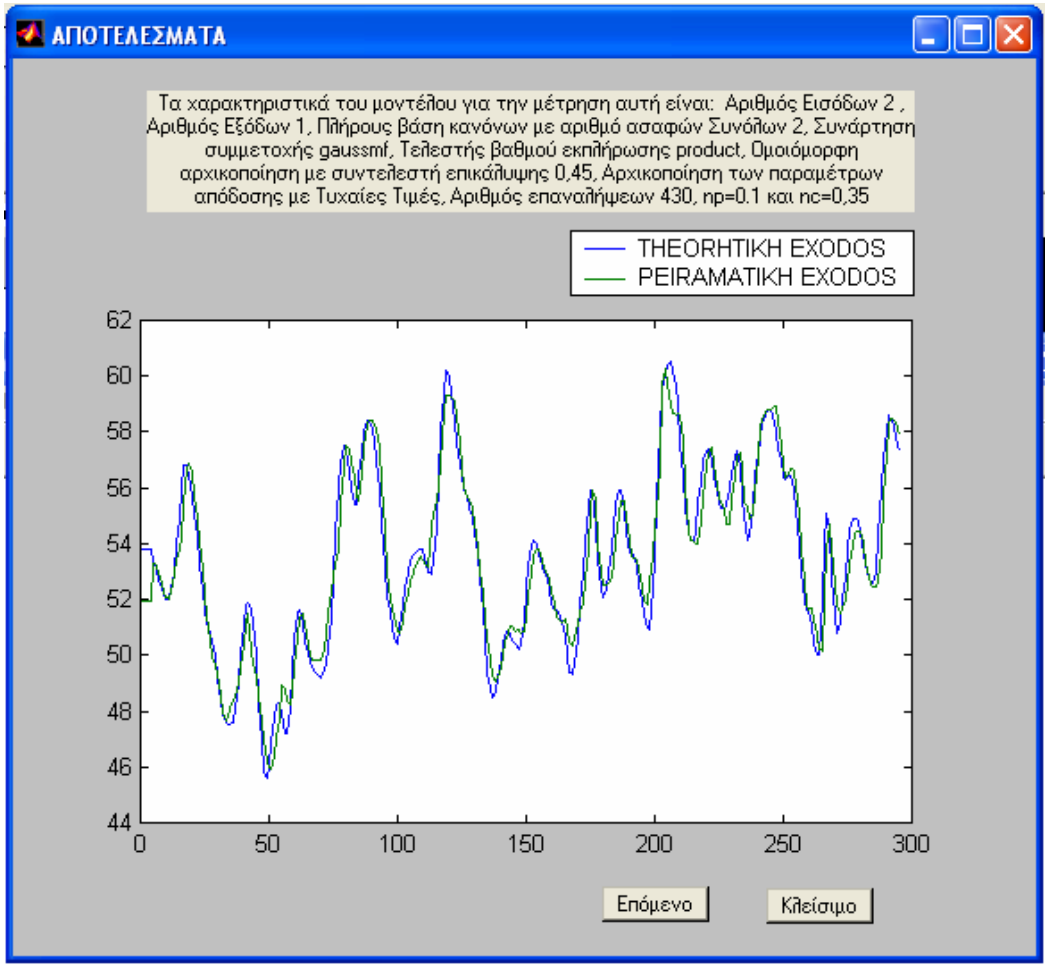
Σχήμα 12α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
50
100
150
200
250
300
350
400
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
2.0257
Προηγούμενο
Κλείσιμο

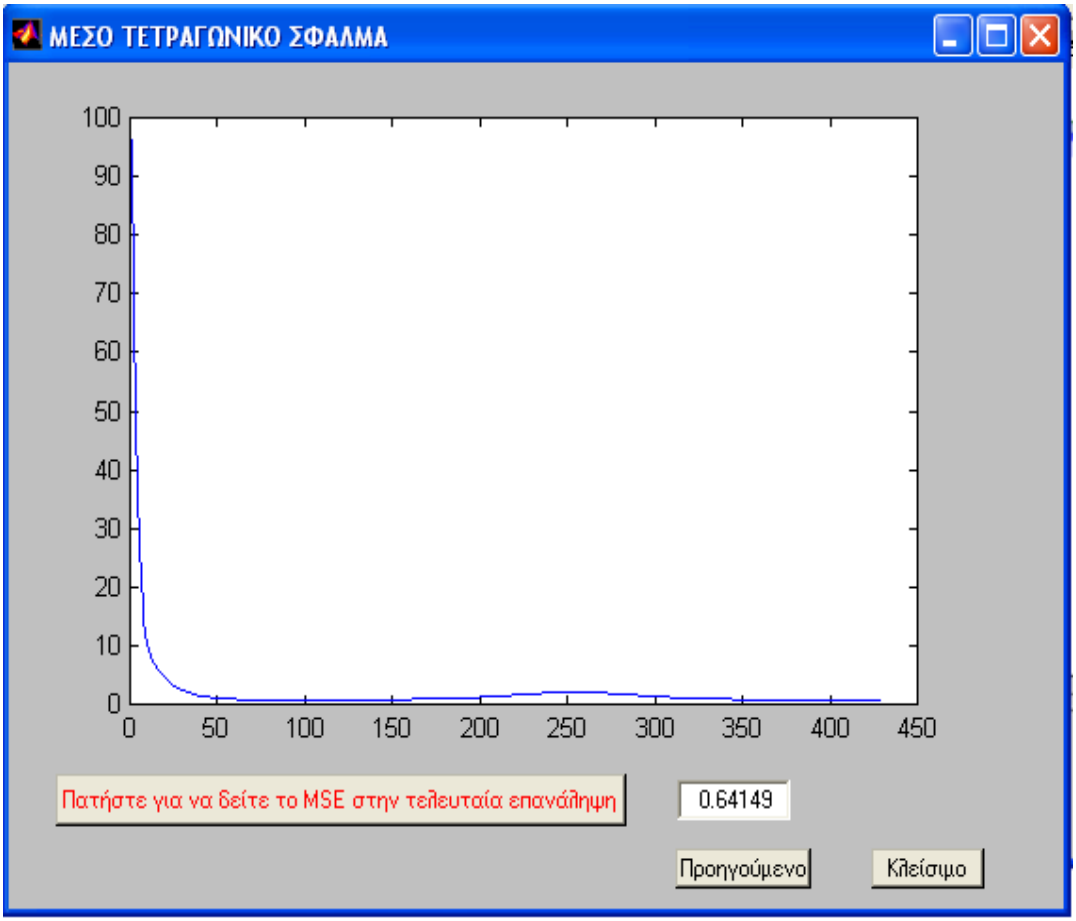
Σχήμα 12β

4.1.13 Μέτρηση 13η

box_metrisi13



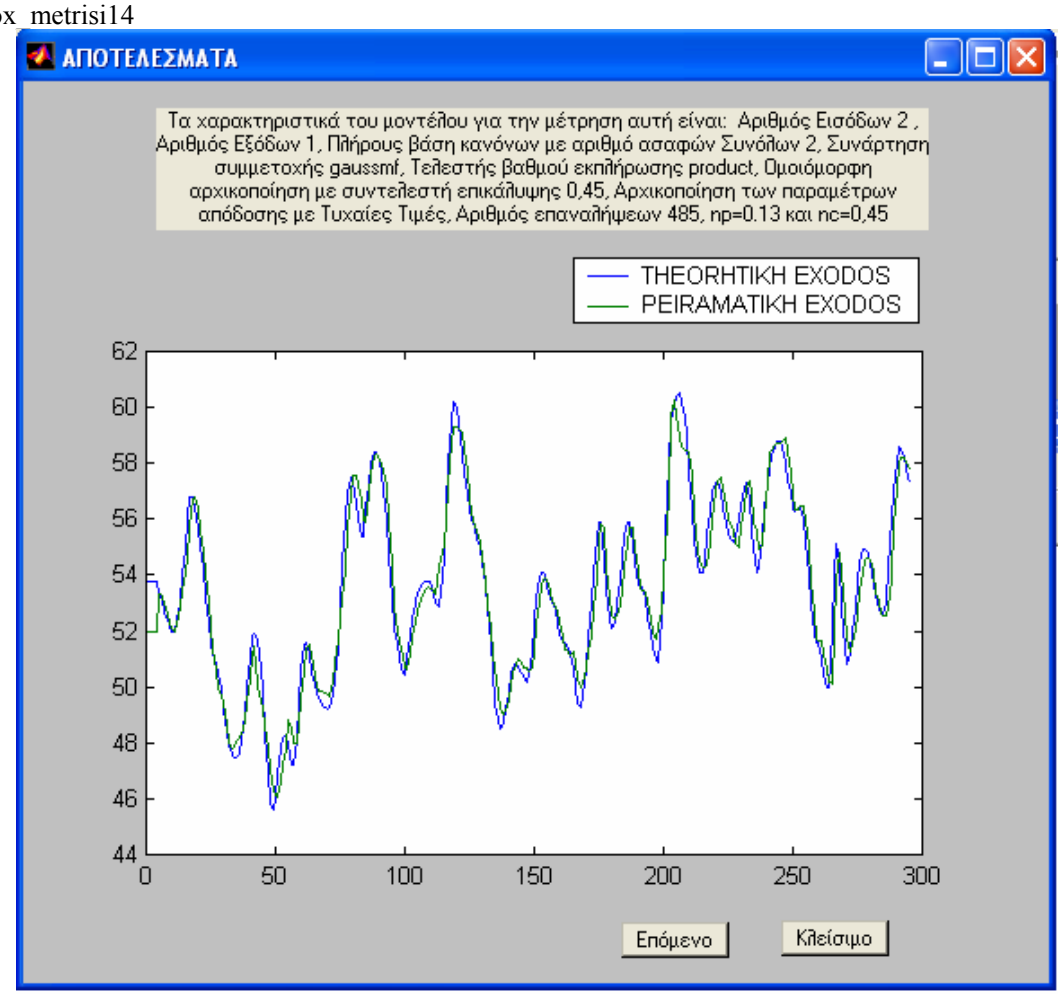
Σχήμα 13α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
50
100
150
200
250
300
350
400
450
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.64149
Προηγούμενο
Κλείσιμο

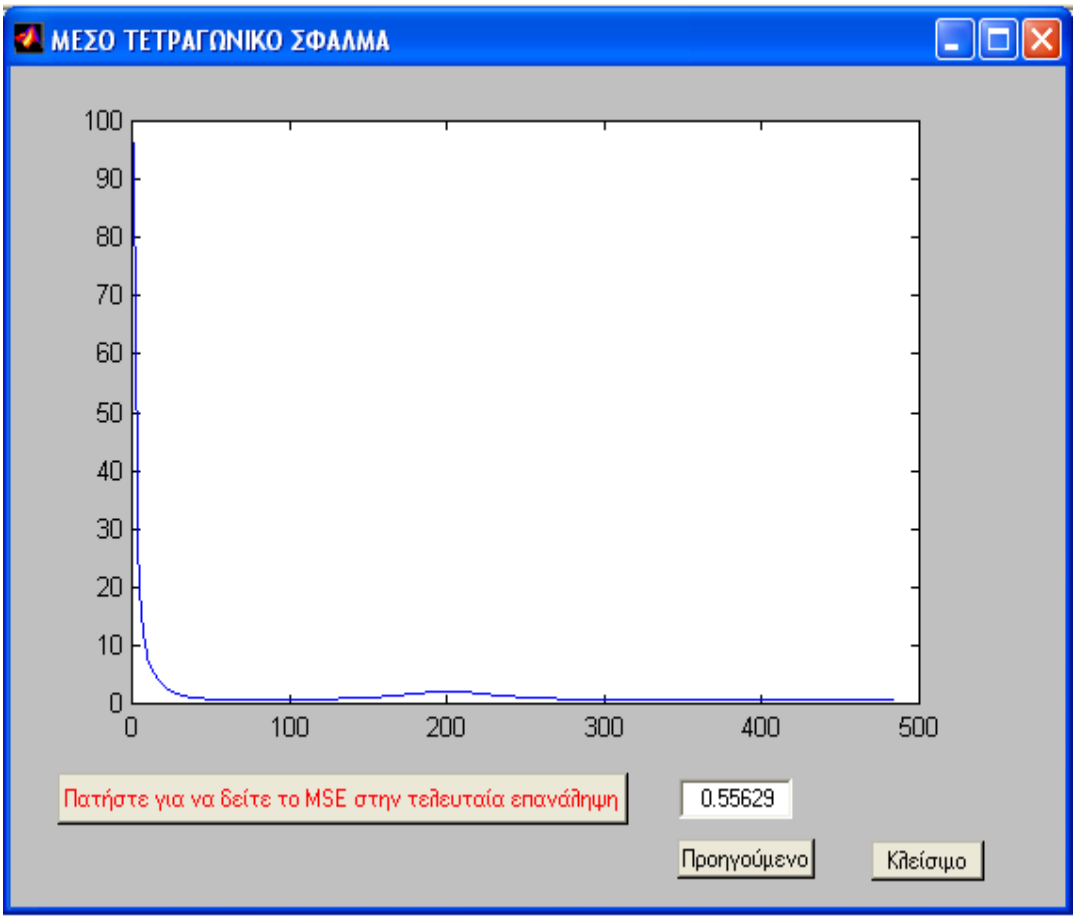
Σχήμα 13β

4.1.14 Μέτρηση 14η

box_metrisi14



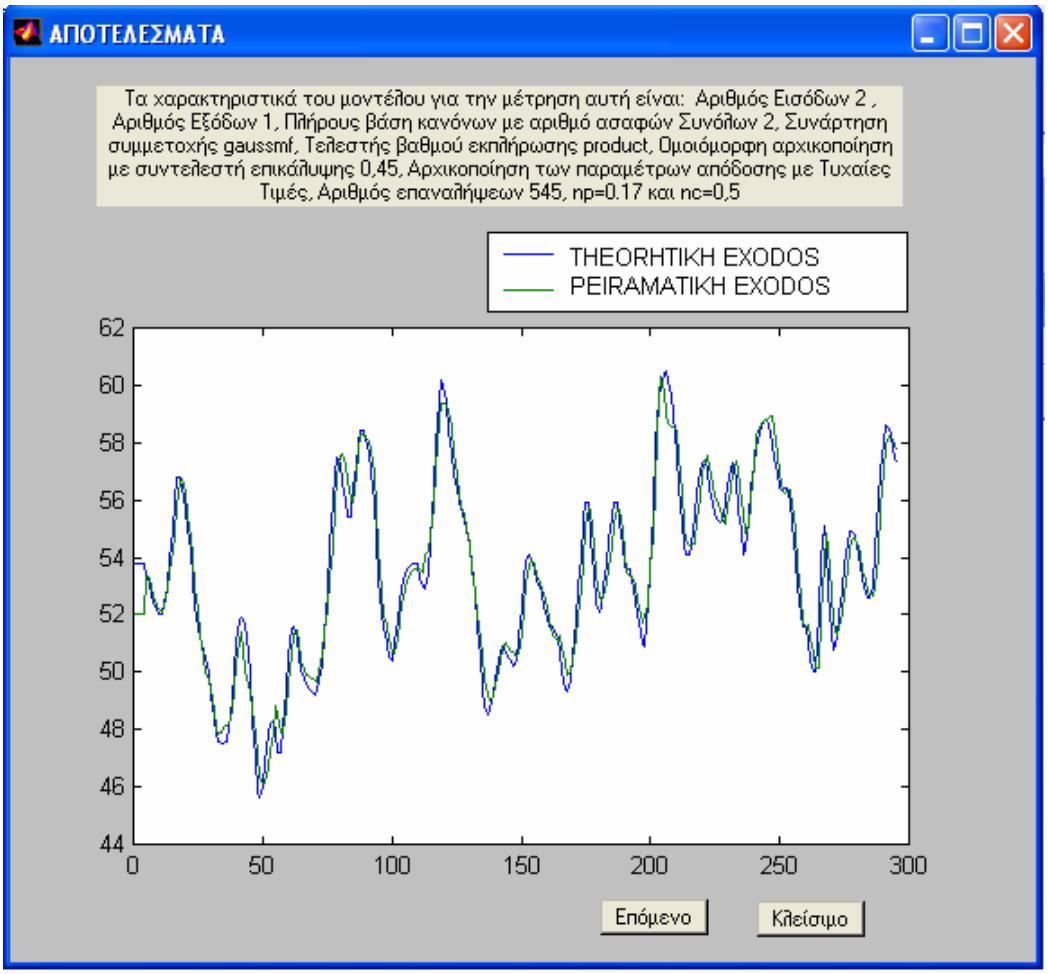
Σχήμα 14α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
100
200
300
400
500
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.55629
Προηγούμενο
Κλείσιμο

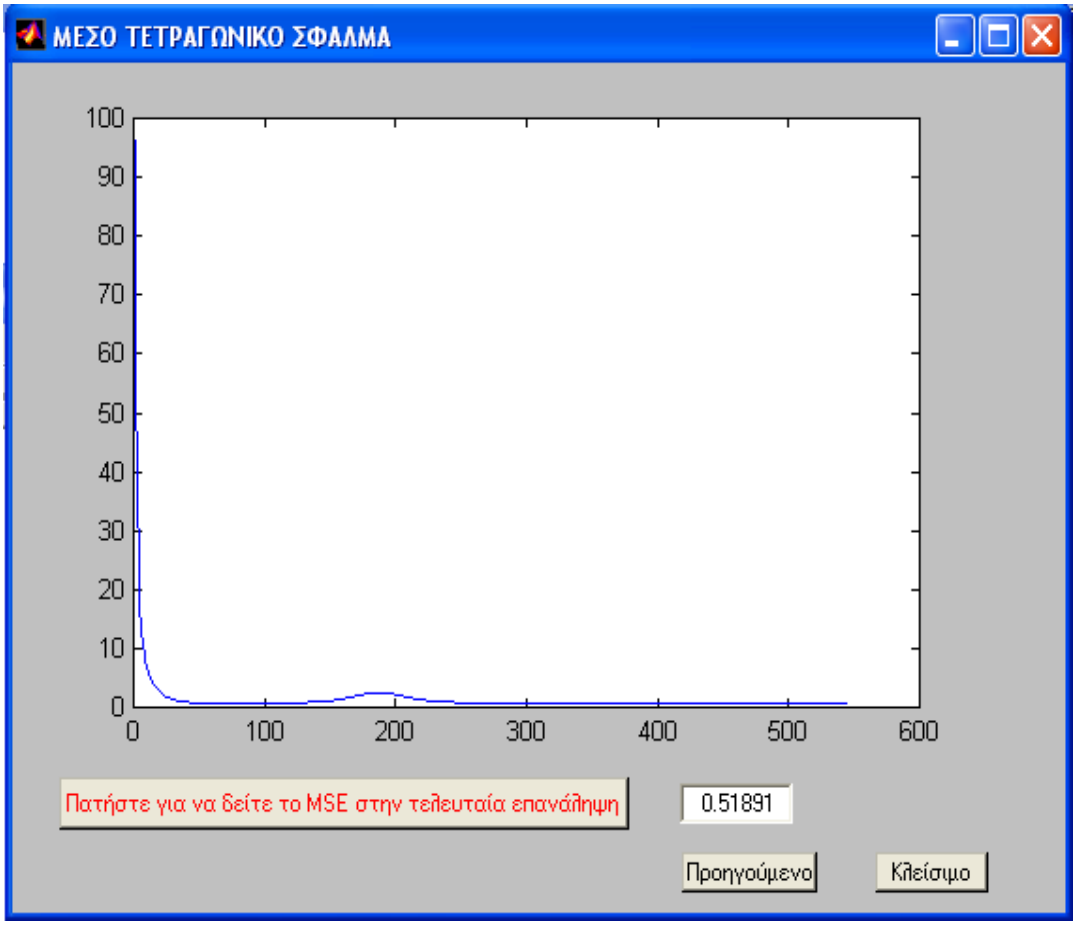
Σχήμα 14β

4.1.15 Μέτρηση 15η

box_metrisi15



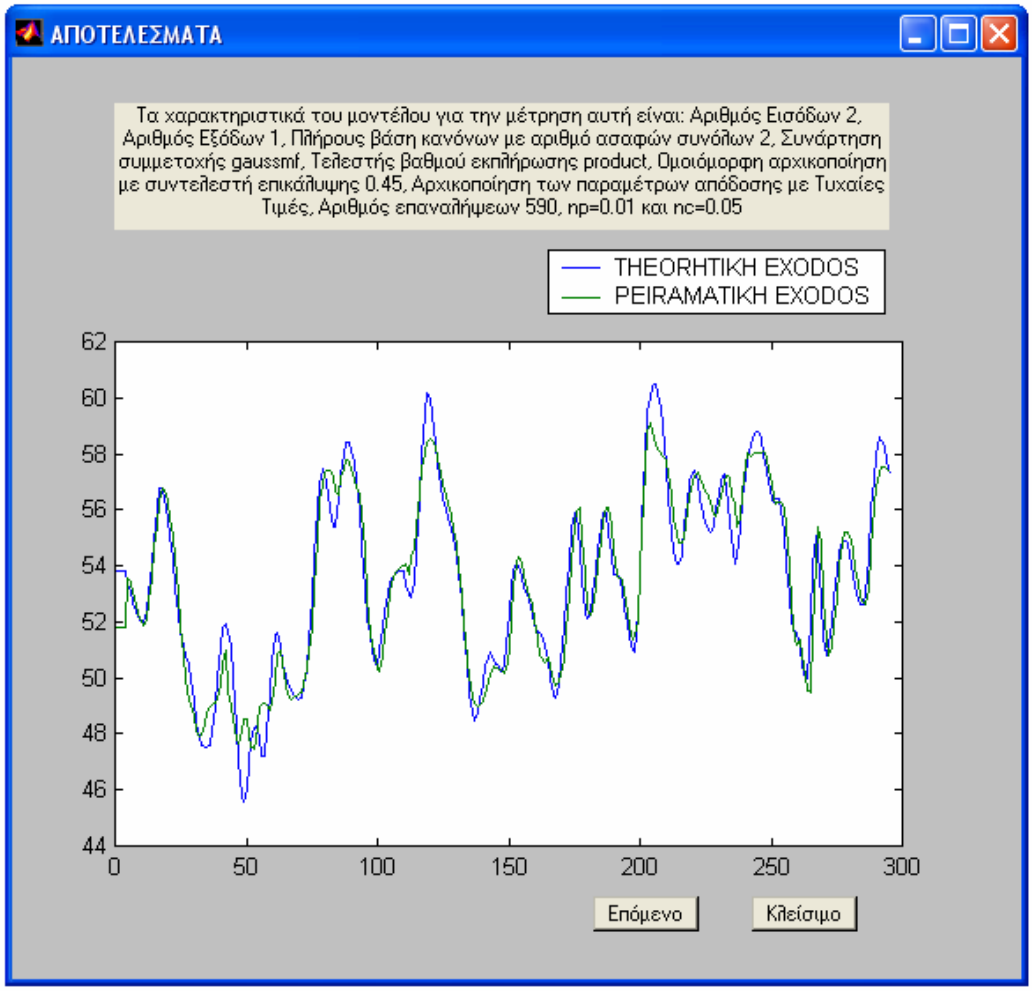
Σχήμα 15α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
100
200
300
400
500
600
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.51891
Προηγούμενο
Κλείσιμο

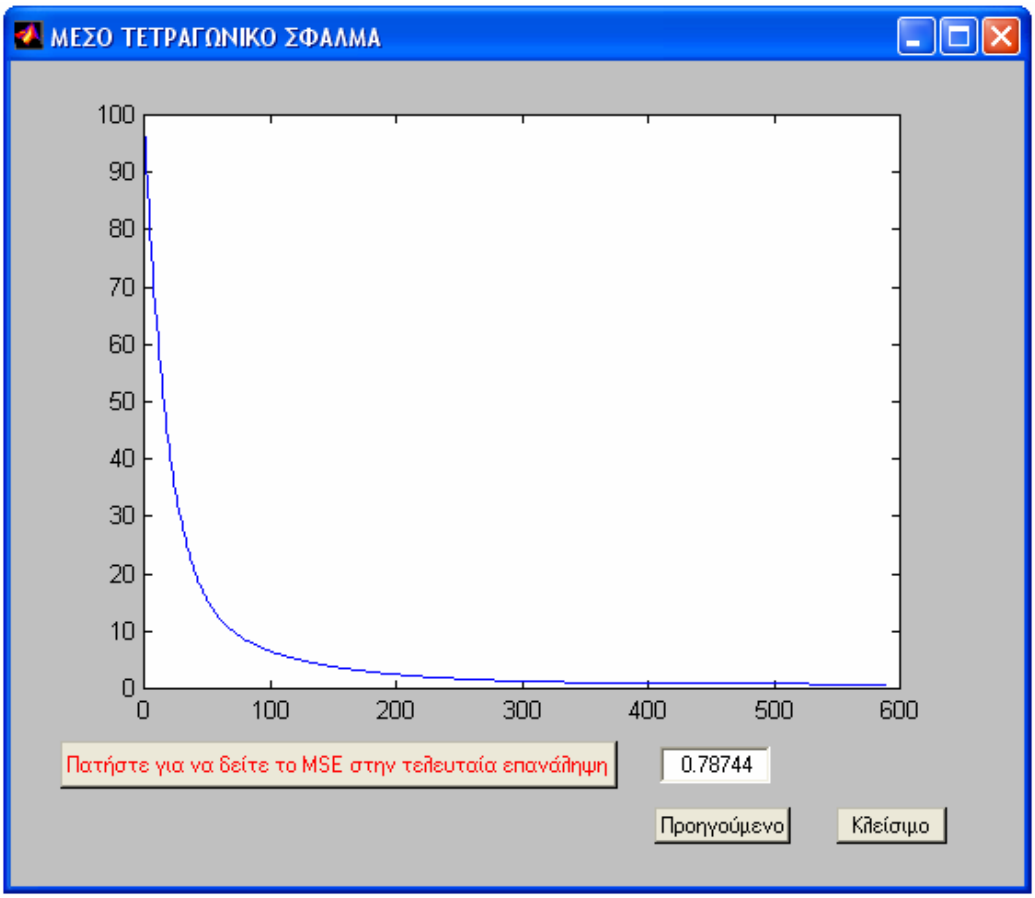
Σχήμα 15β

4.1.16 Μέτρηση 16η

box_metrisi16



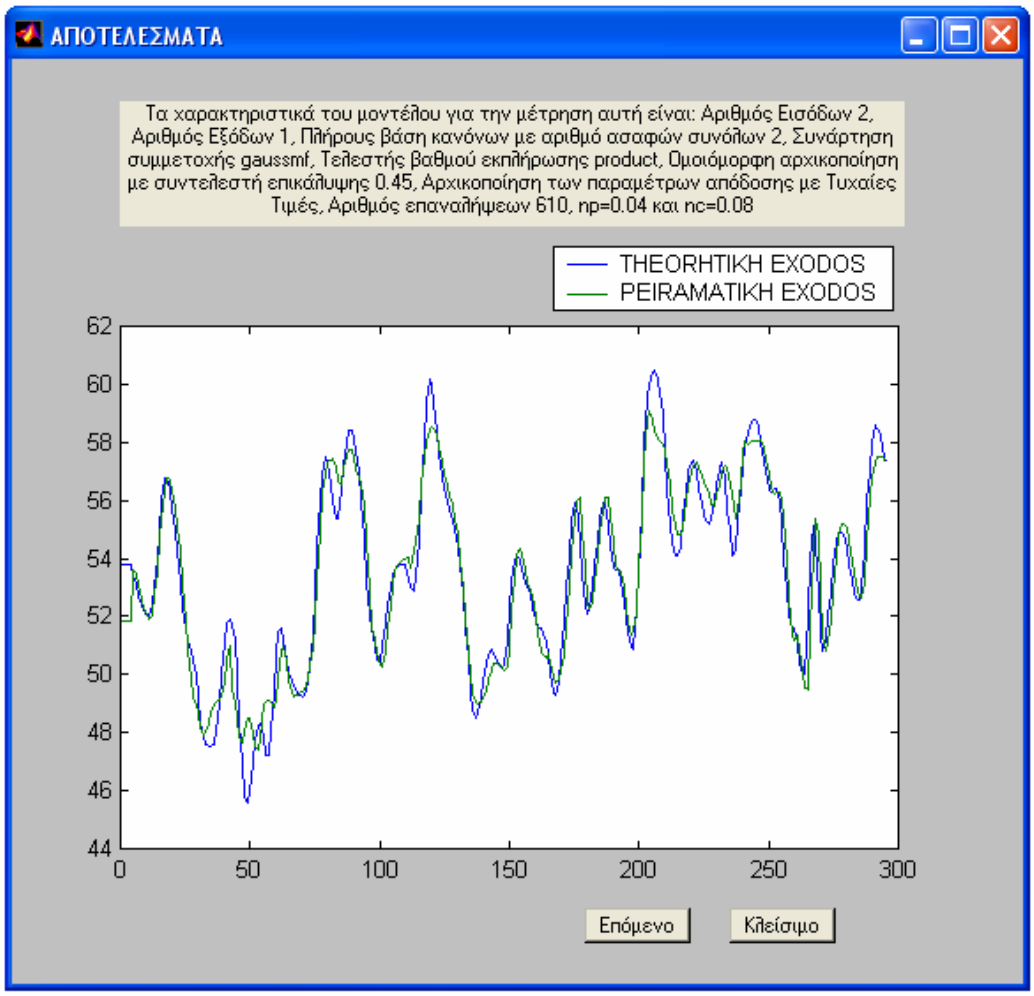
Σχήμα 16α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
100
200
300
400
500
600
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.78744
Προηγούμενο
Κλείσιμο

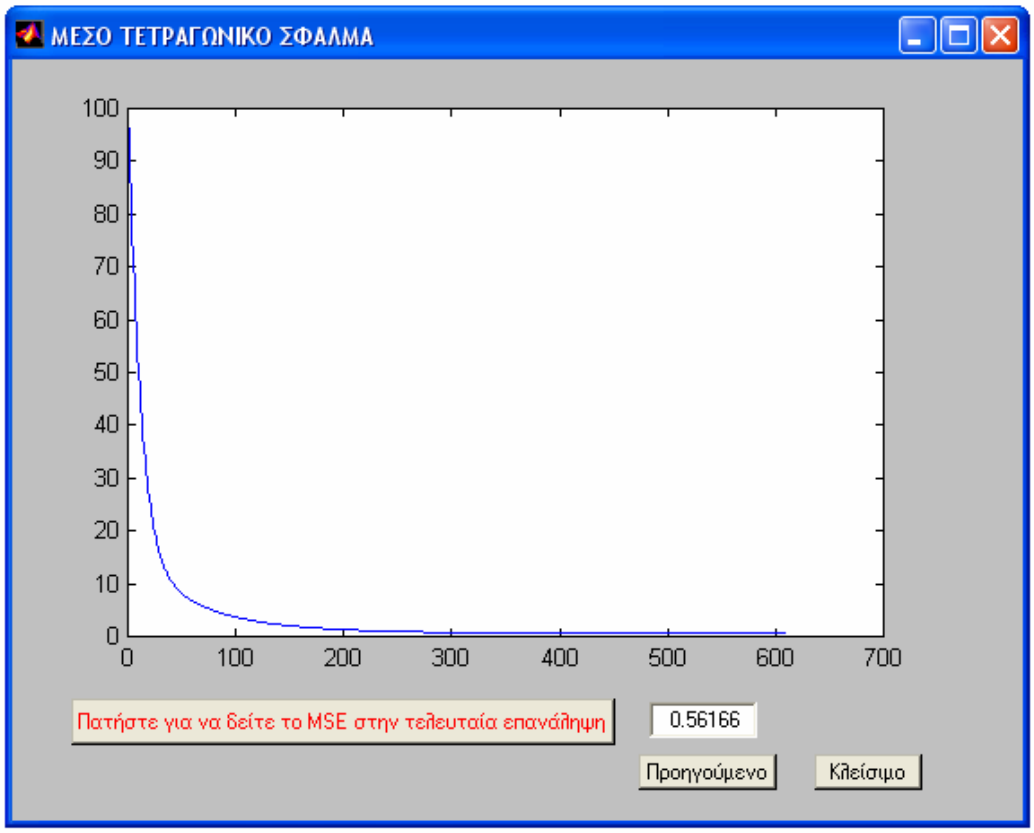
Σχήμα 16β

4.1.17 Μέτρηση 17η

Box_metrisi17



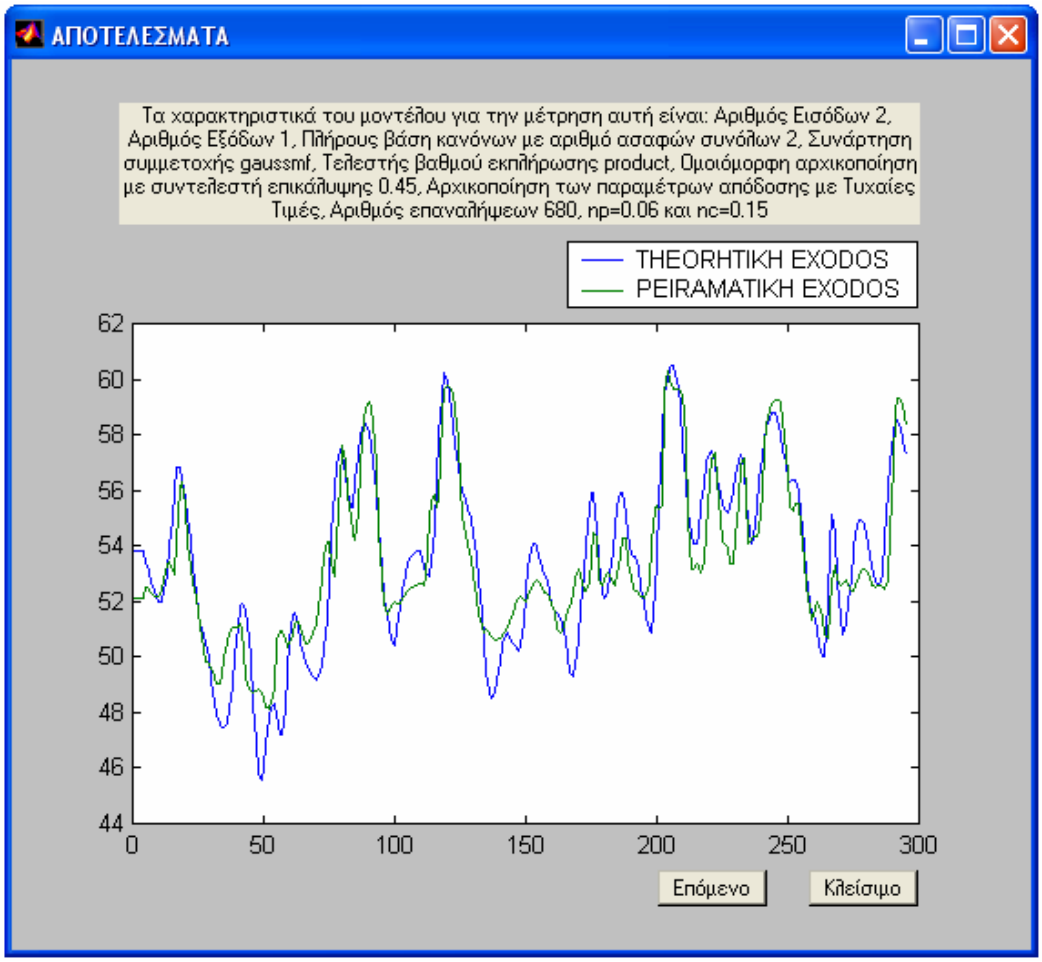
Σχήμα 17α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
100
200
300
400
500
600
700
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.56166
Προηγούμενο
Κλείσιμο

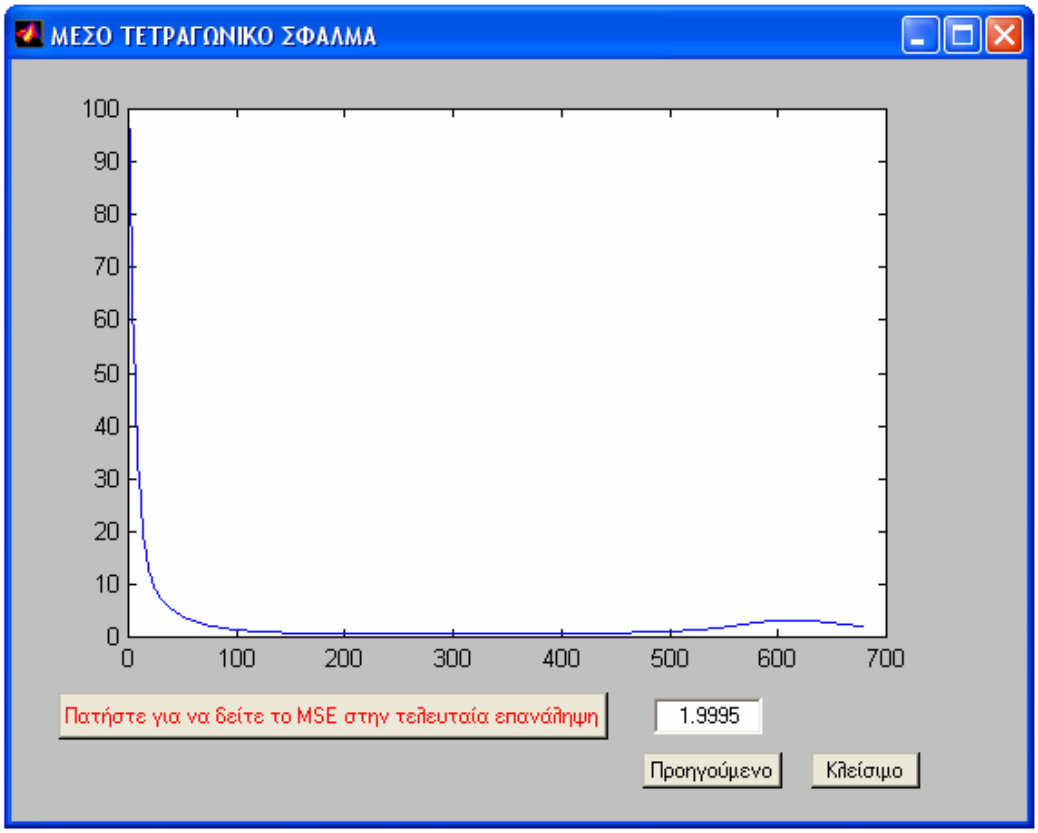
Σχήμα 17β

4.1.18 Μέτρηση 18η

Box_metrisi18



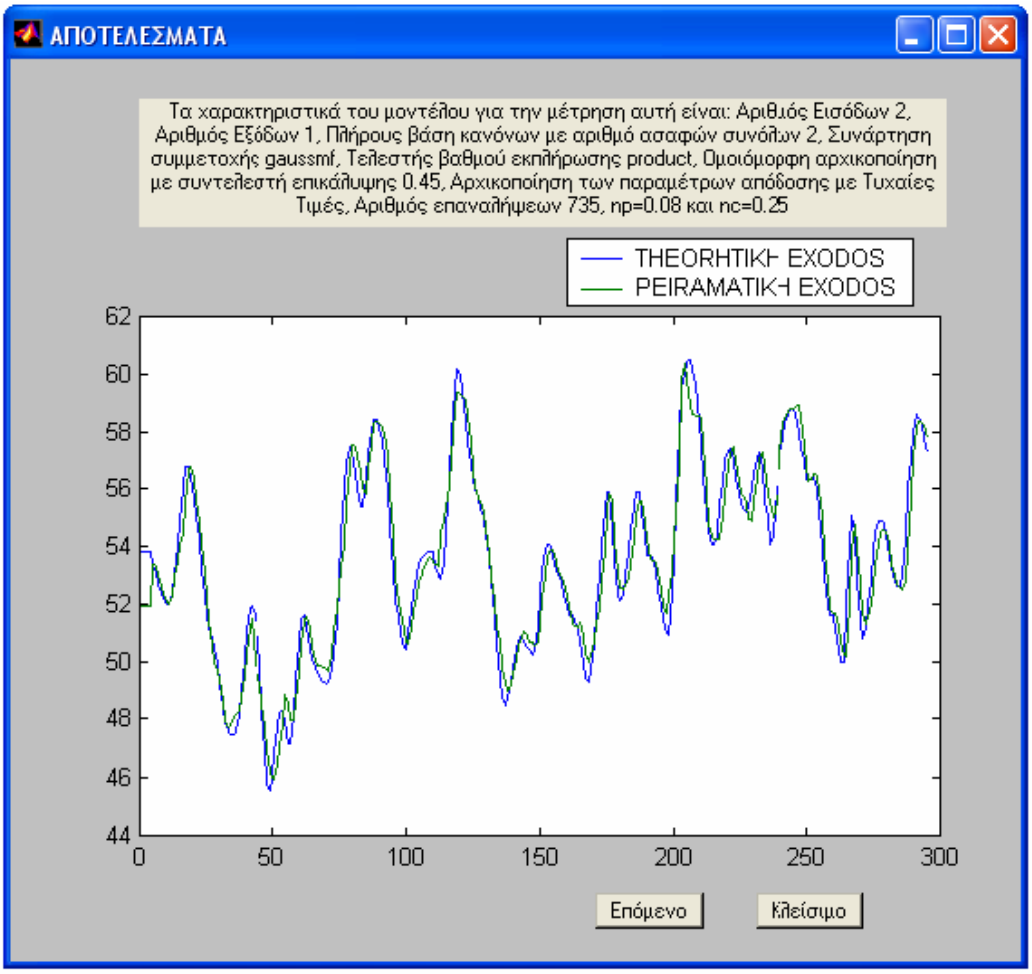
Σχήμα 18α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
100
200
300
400
500
600
700
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
1.9995
Προηγούμενο
Κλείσιμο

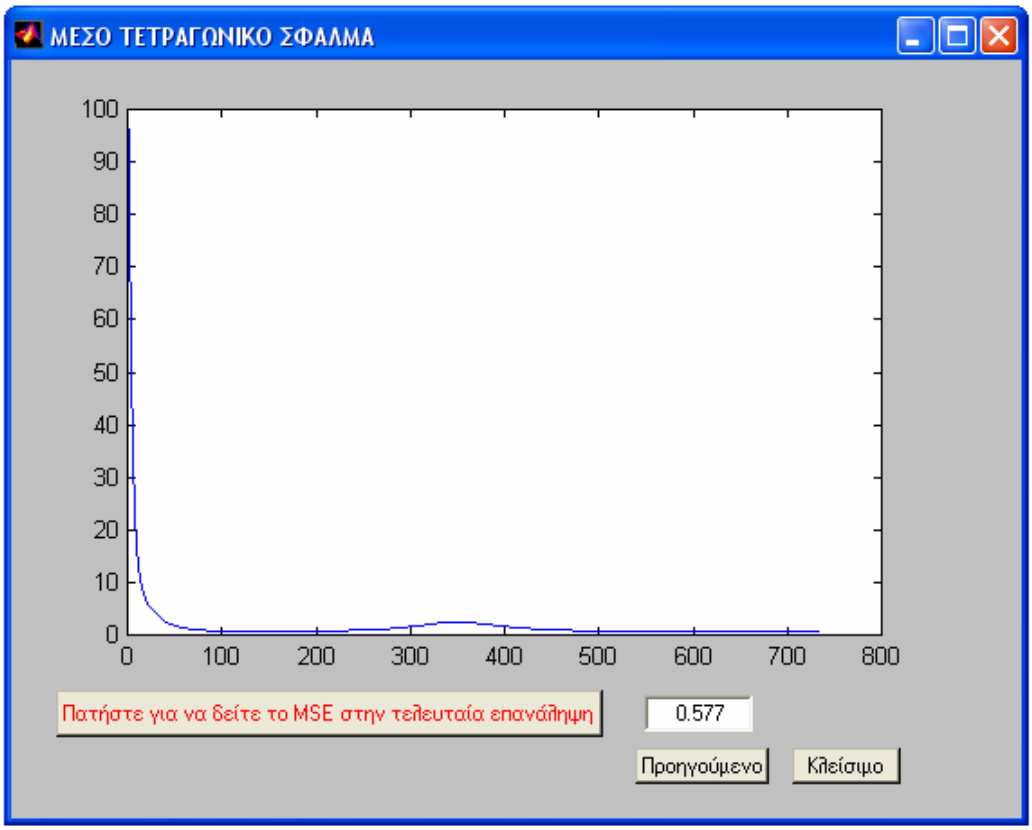
Σχήμα 18β

4.1.19 Μέτρηση 19η

Box_metrisi19



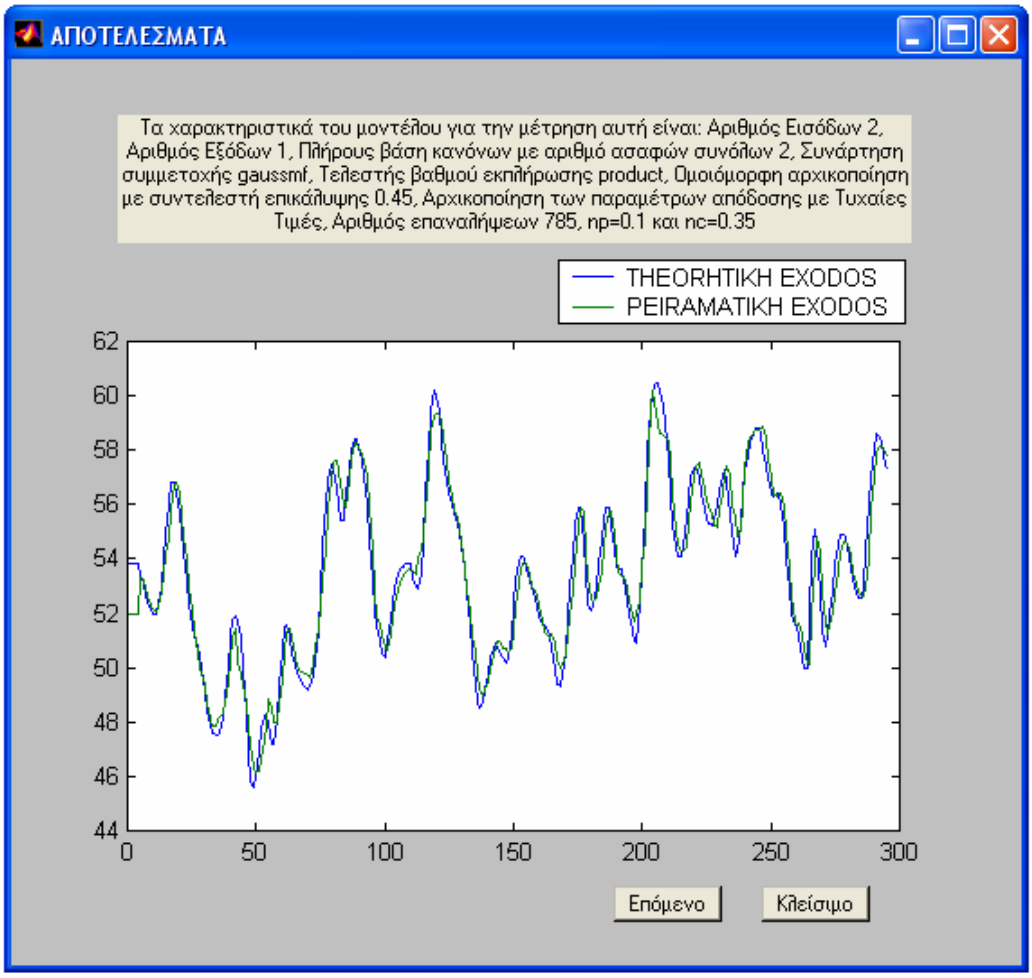
Σχήμα 19α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.577
Προηγούμενο
Κλείσιμο

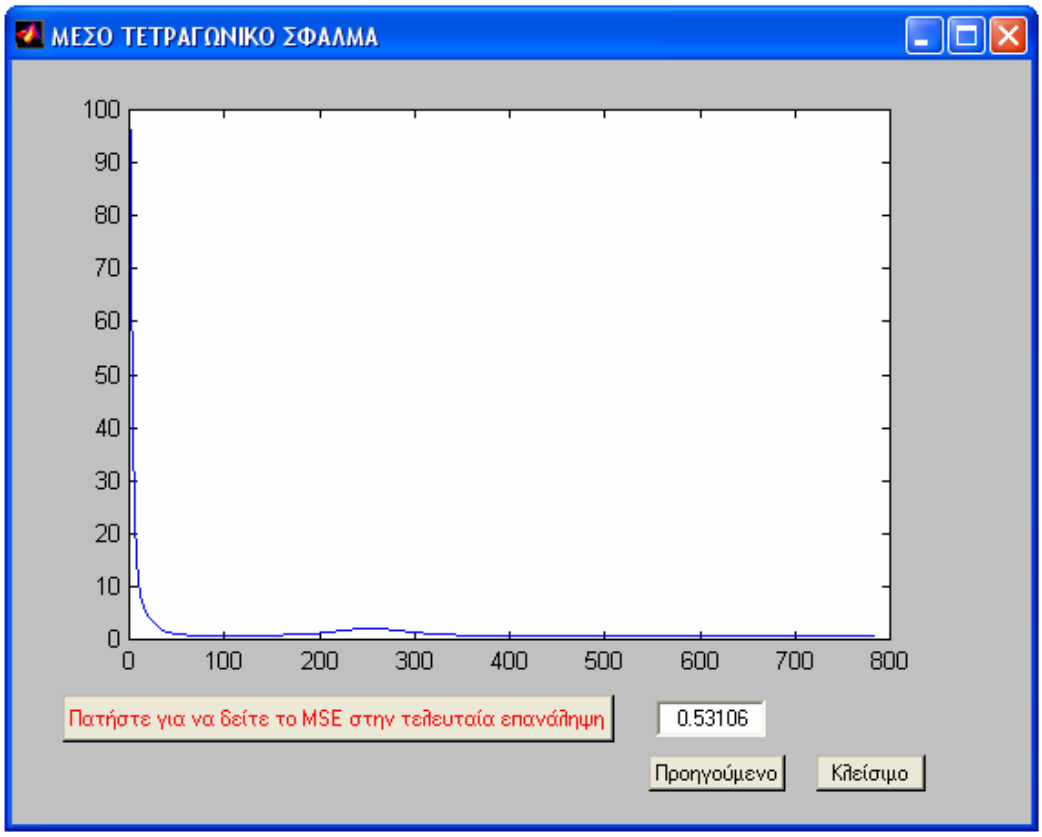
Σχήμα 19β

4.1.20 Μέτρηση 20η

Box_metrisi20



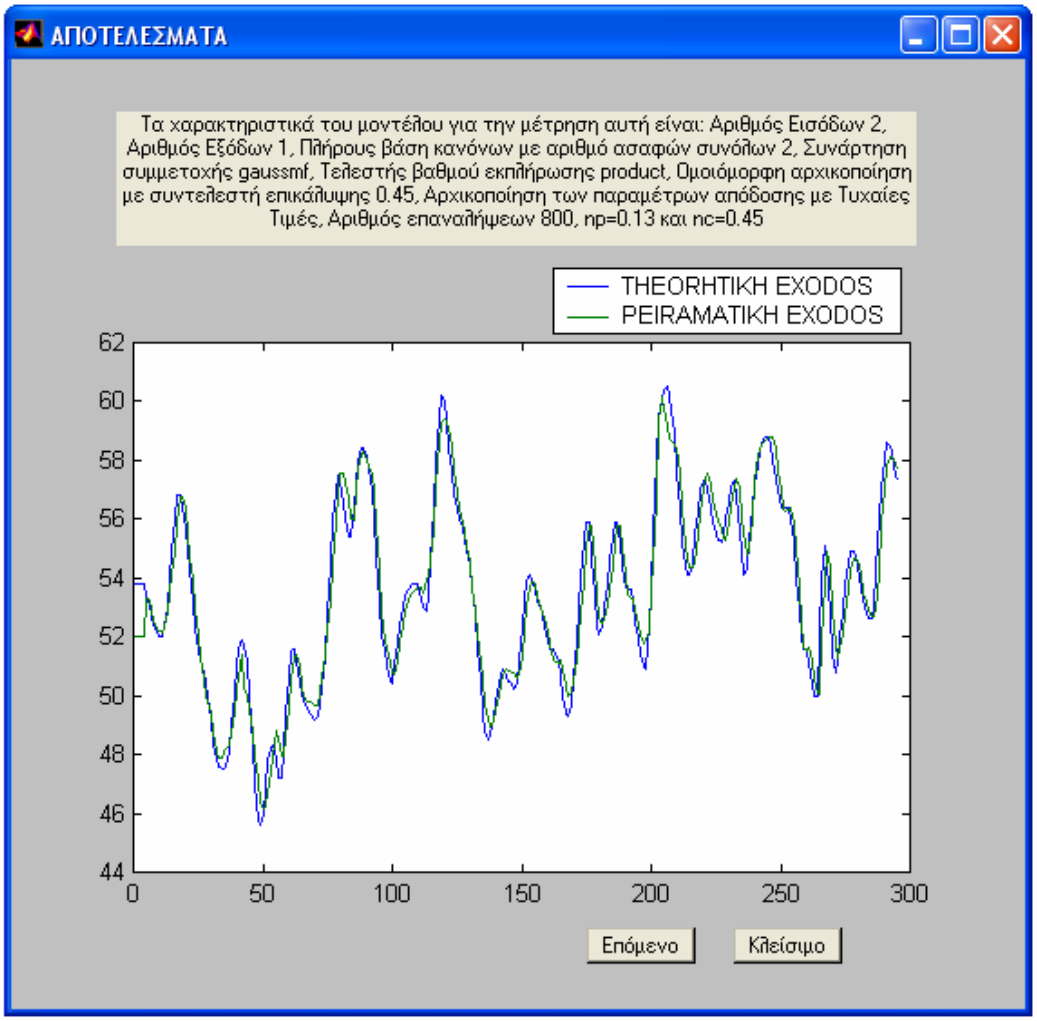
Σχήμα 20α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.53106
Προηγούμενο
Κλείσιμο

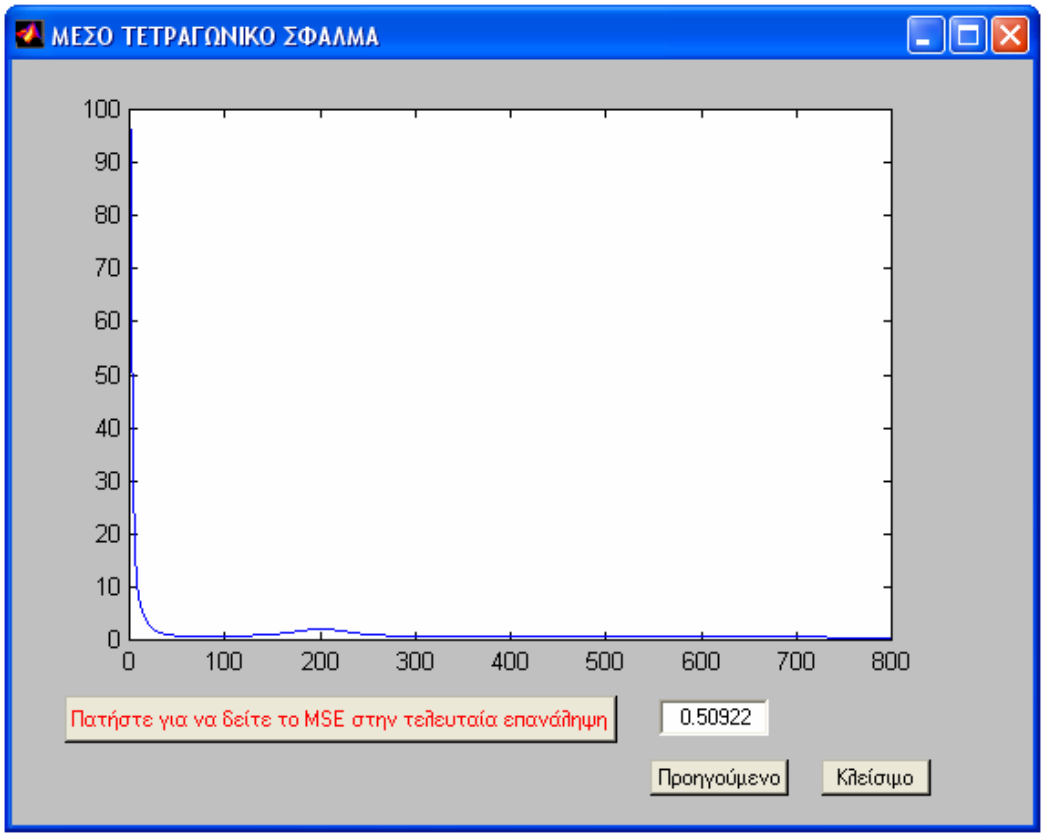
Σχήμα 20β

4.1.21 Μέτρηση 21η

Box_metrisi21



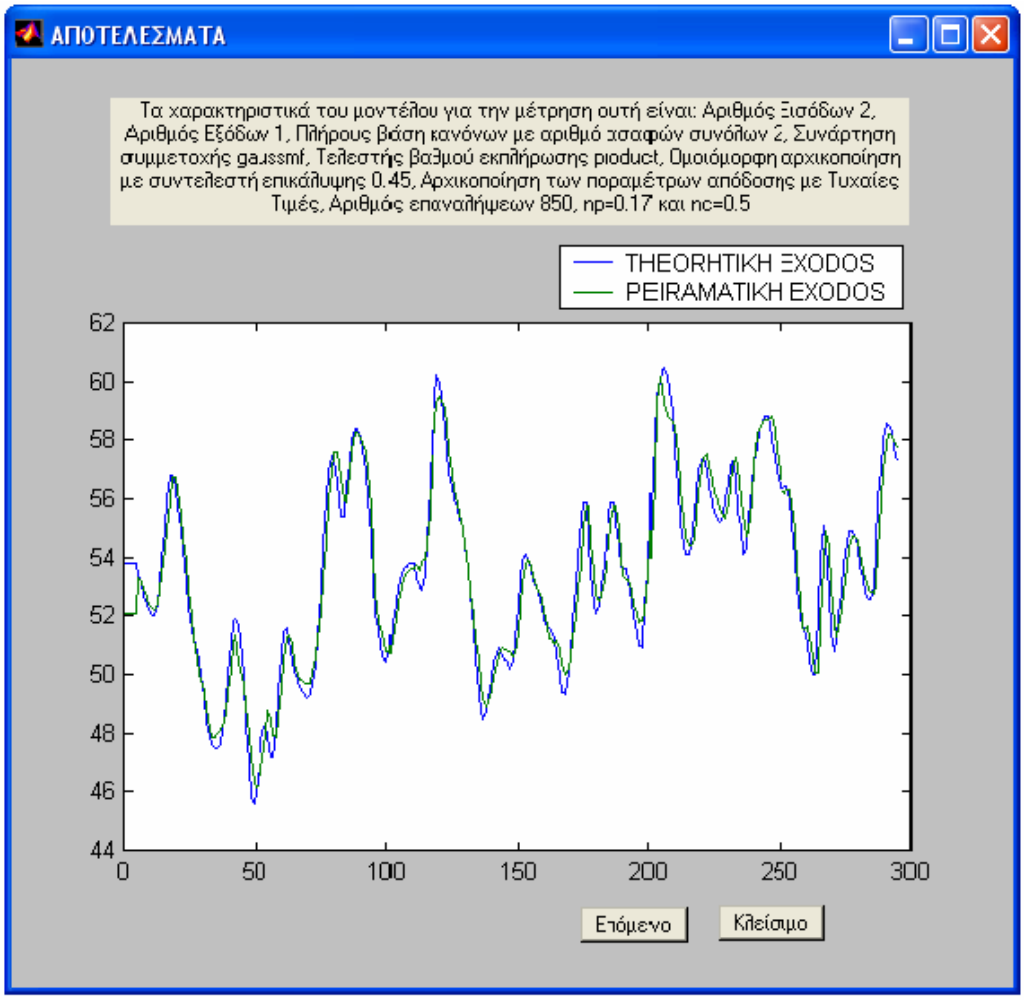
Σχήμα 21α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.50922
Προηγούμενο
Κλείσιμο

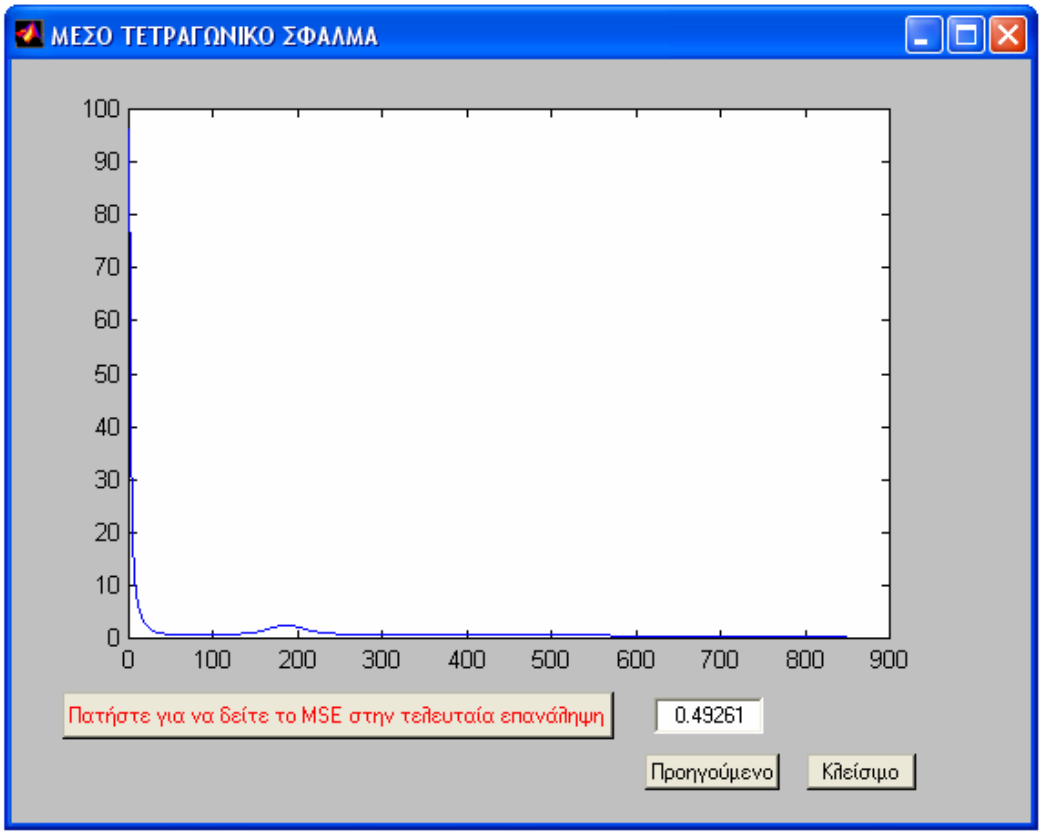
Σχήμα 21β

4.1.22 Μέτρηση 22η

Box_metrisi22



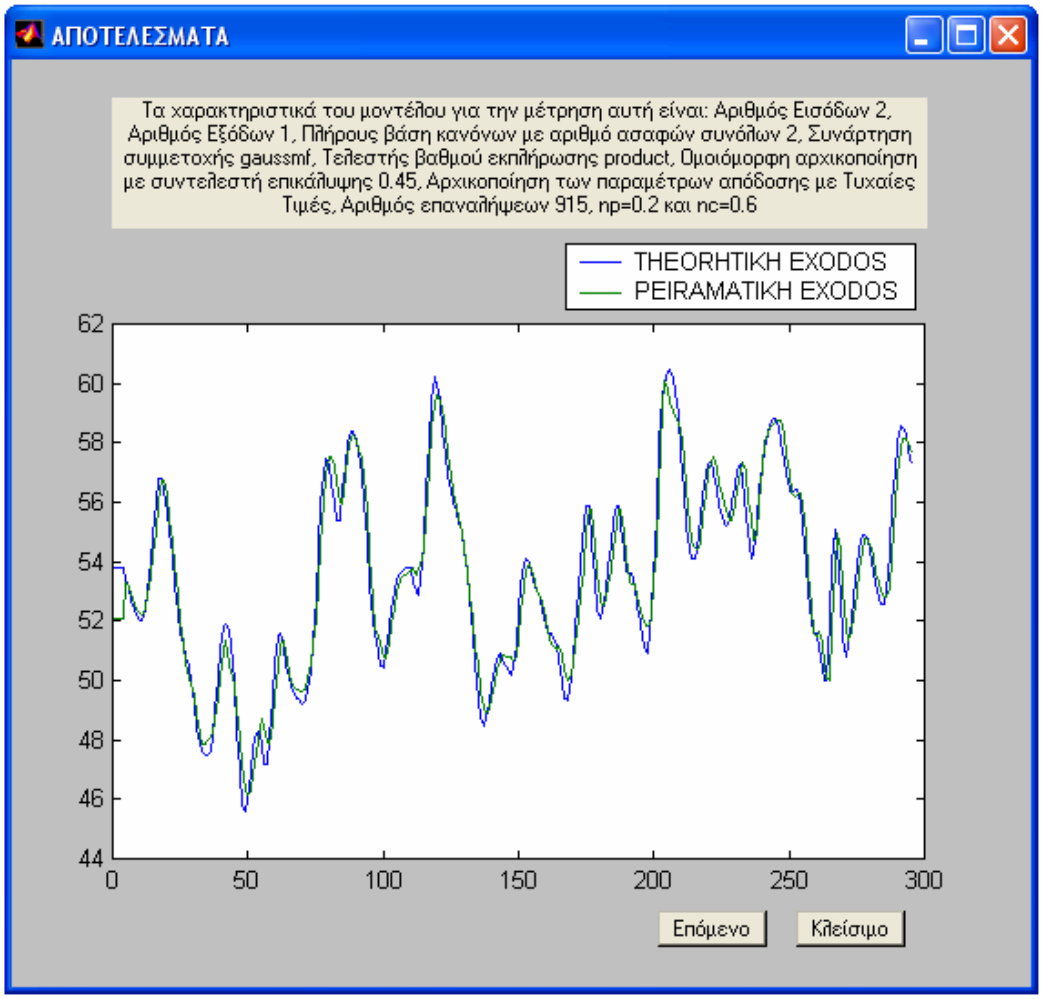
Σχήμα 22α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.49261
Προηγούμενο
Κλείσιμο

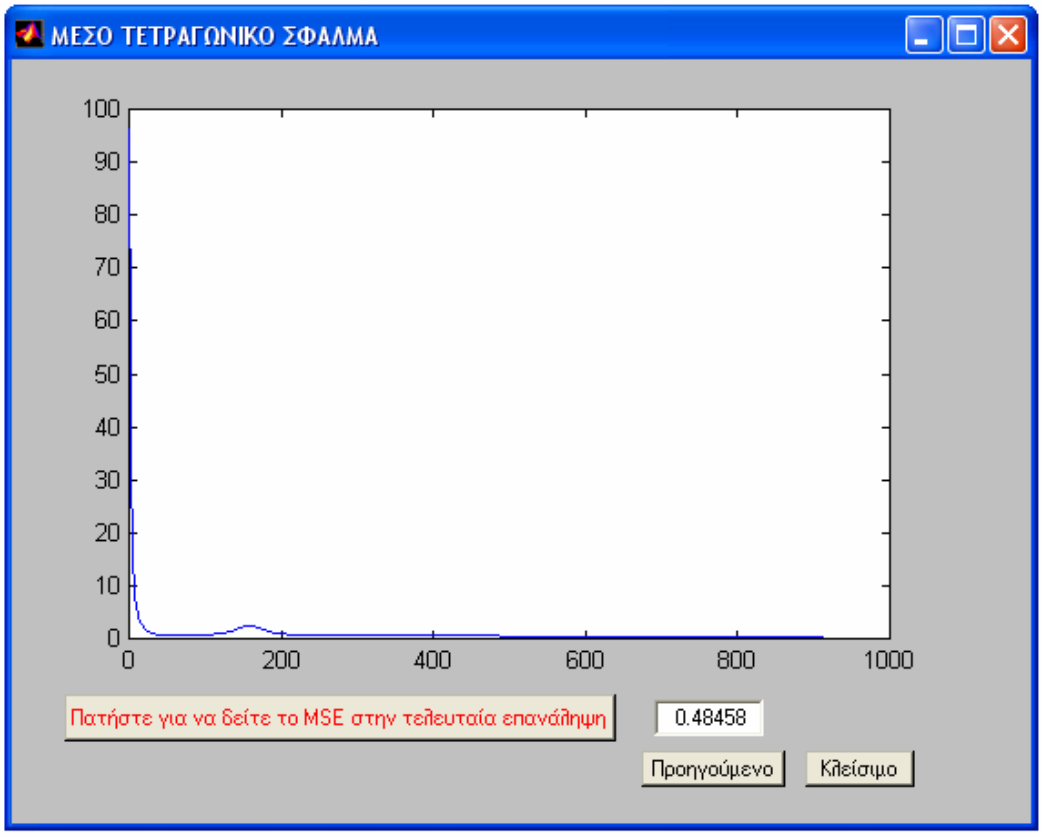
Σχήμα 22β

4.1.23 Μέτρηση 23η

Box_metrisi23



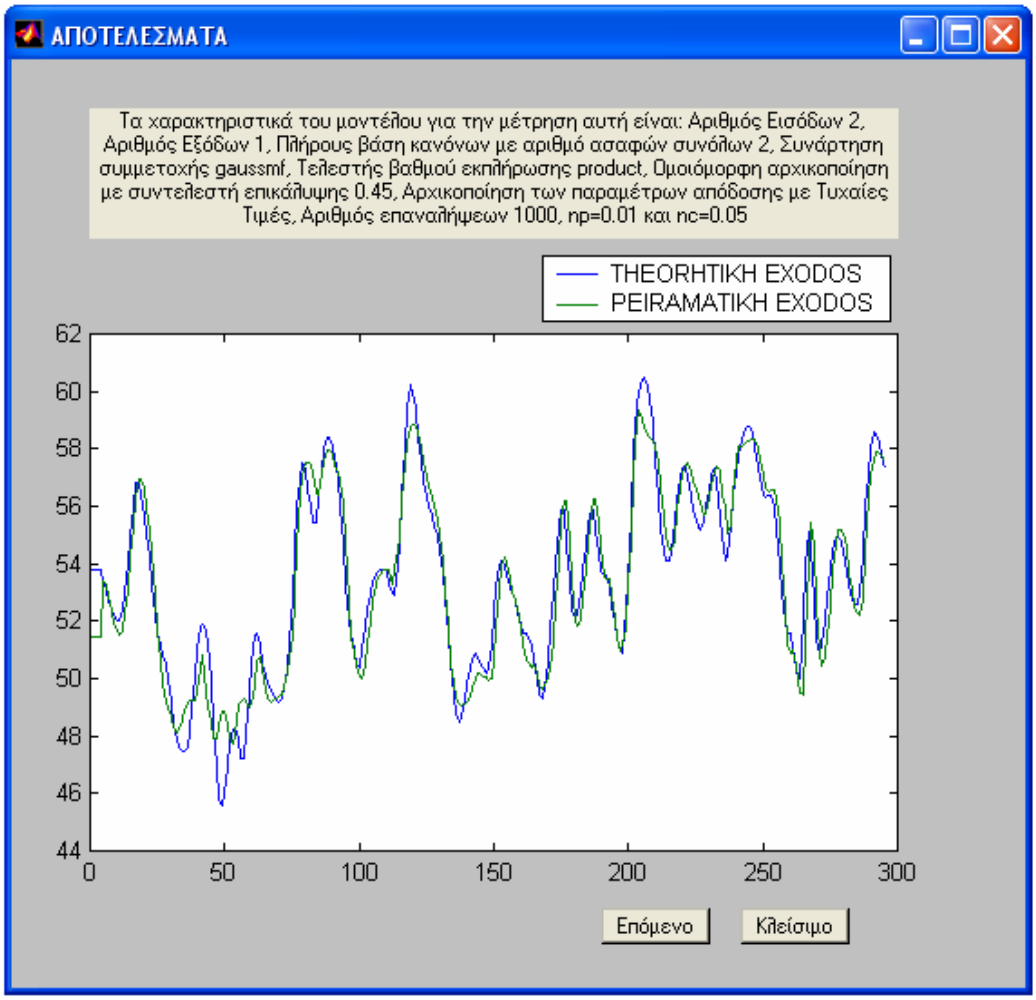
Σχήμα 23α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
200
400
600
800
1000
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.48458
Προηγούμενο
Κλείσιμο

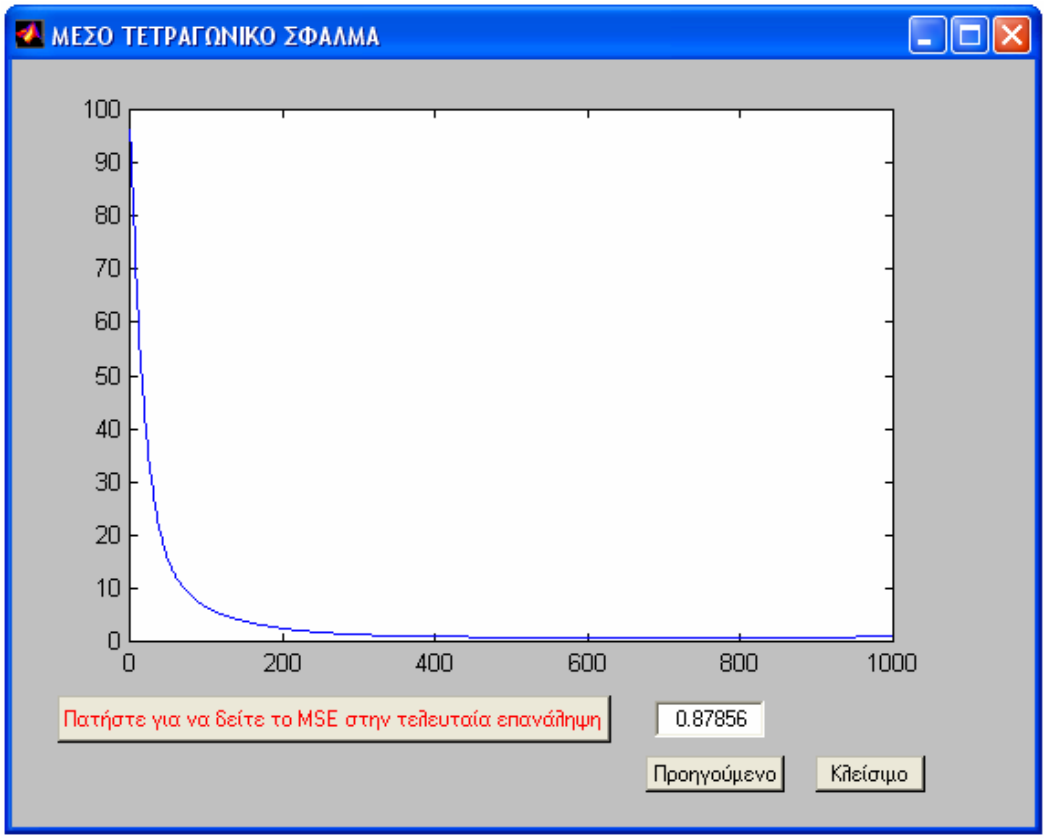
Σχήμα 23β

4.1.24 Μέτρηση 24η

Box_metrisi24



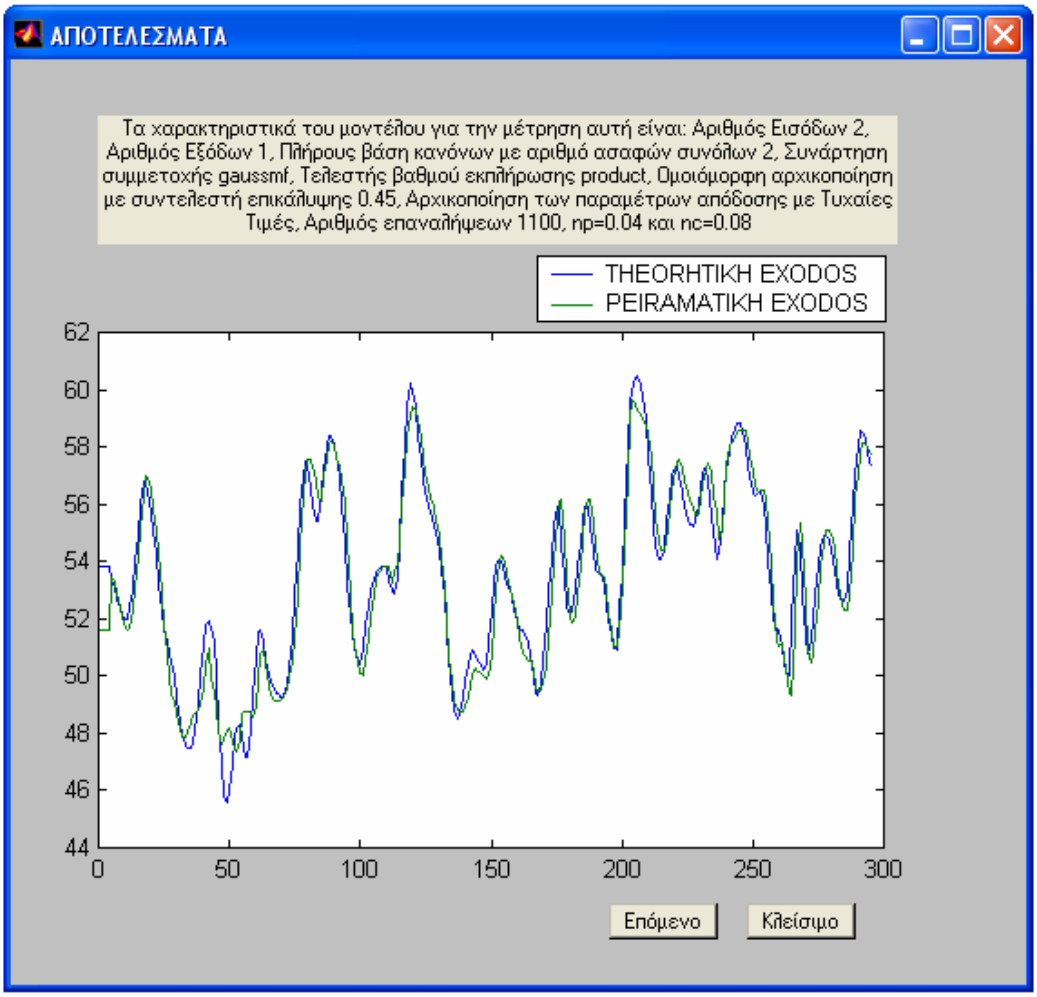
Σχήμα 24α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
200
400
600
800
1000
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.87856
Προηγούμενο
Κλείσιμο

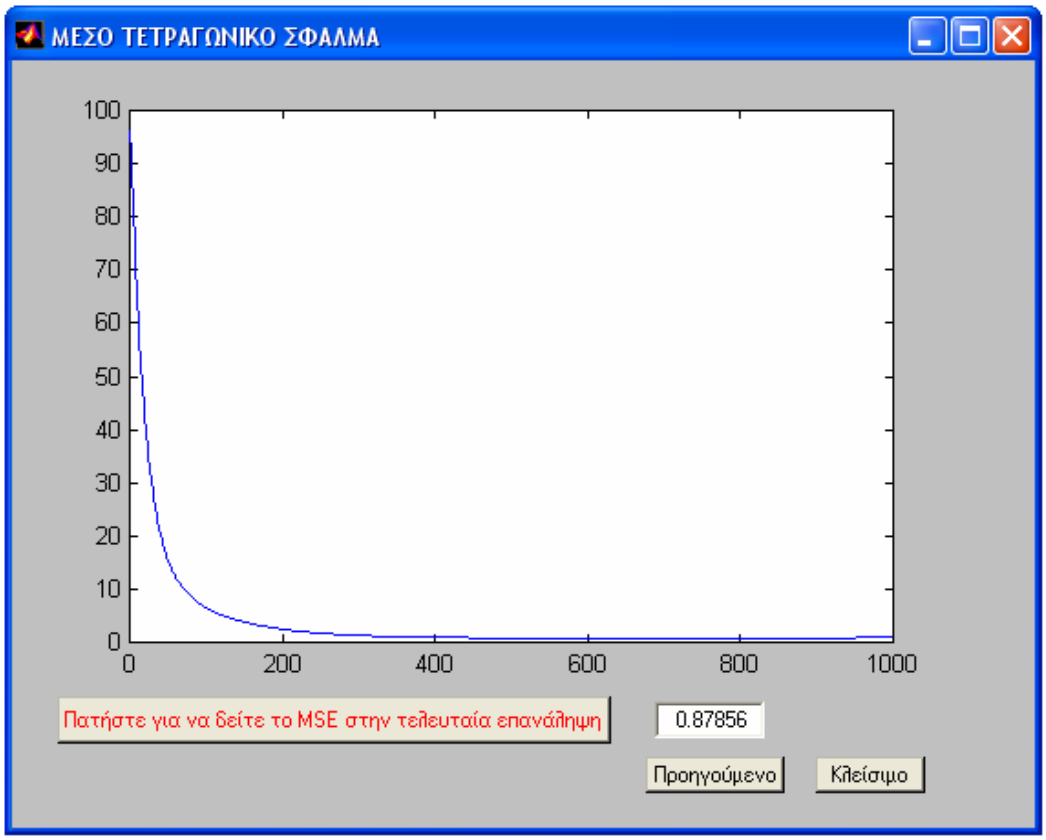
Σχήμα 24β

4.1.25 Μέτρηση 25η

Box_metrisi25



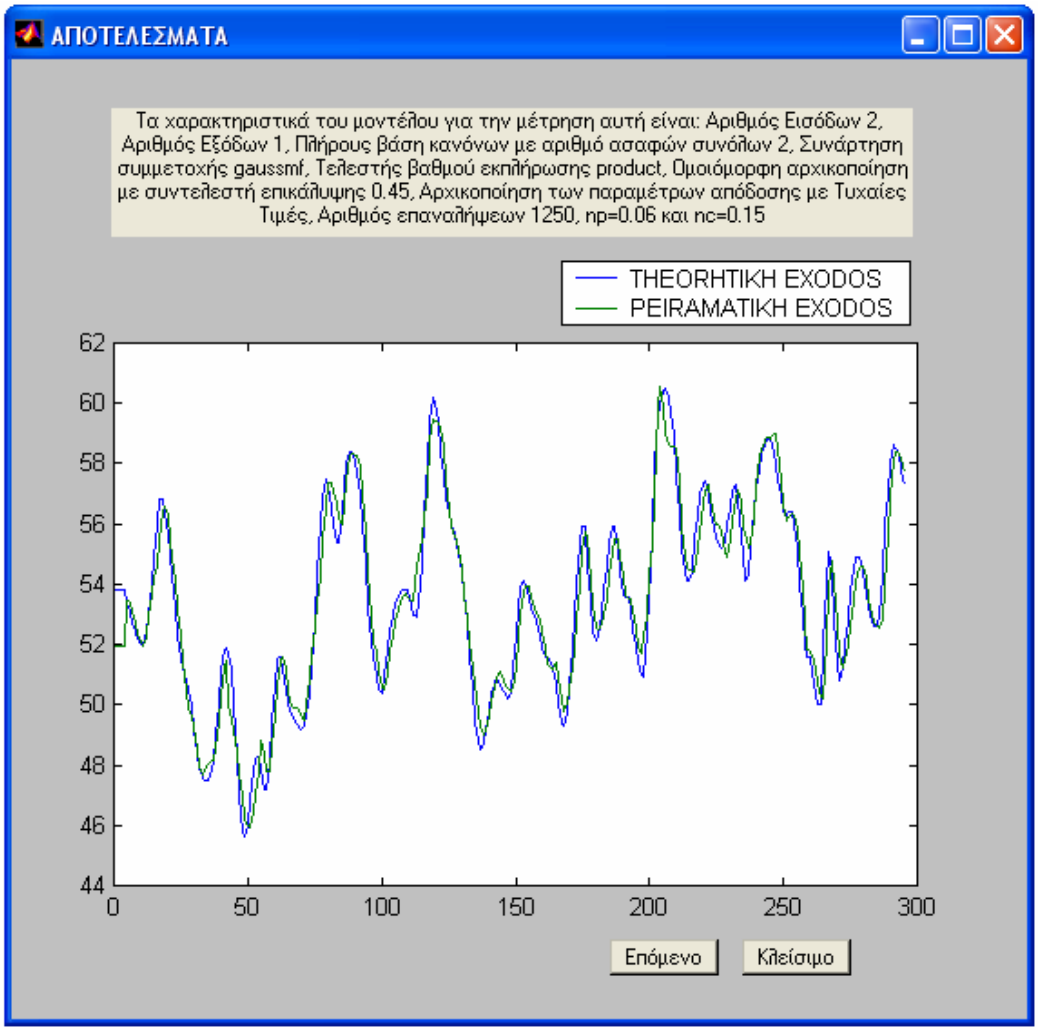
Σχήμα 25α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
200
400
600
800
1000
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.87856
Προηγούμενο
Κλείσιμο

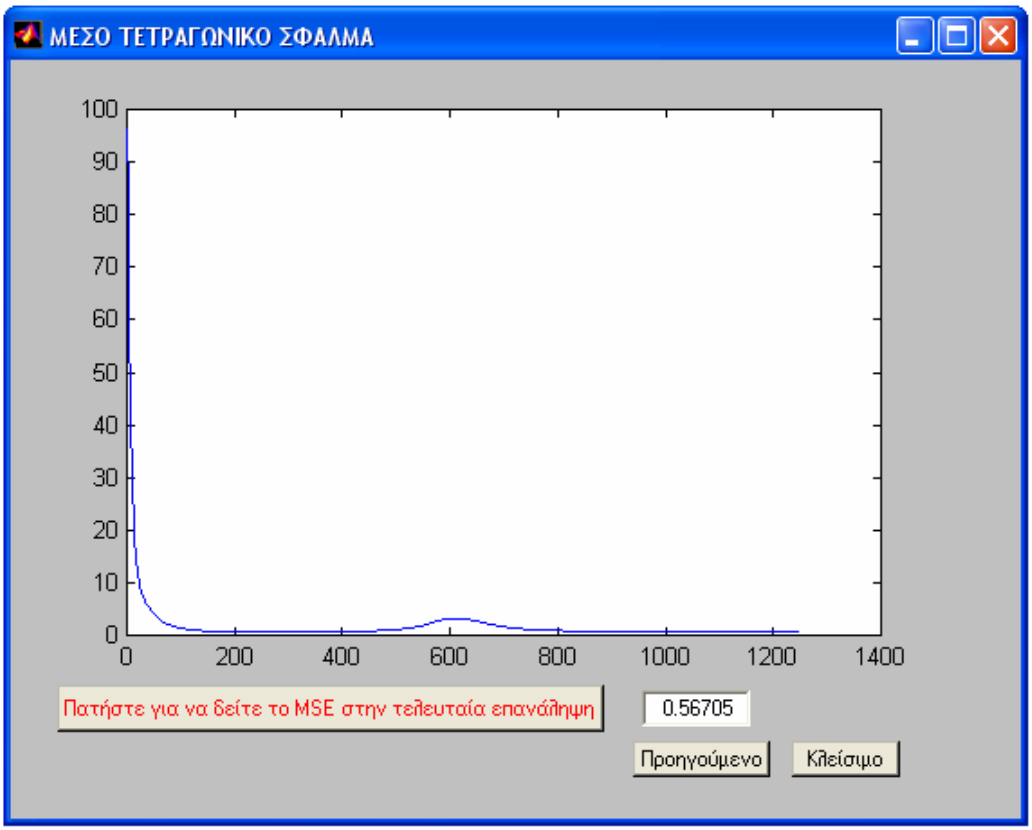
Σχήμα 25β

4.1.26 Μέτρηση 26η

Box_metrisi26



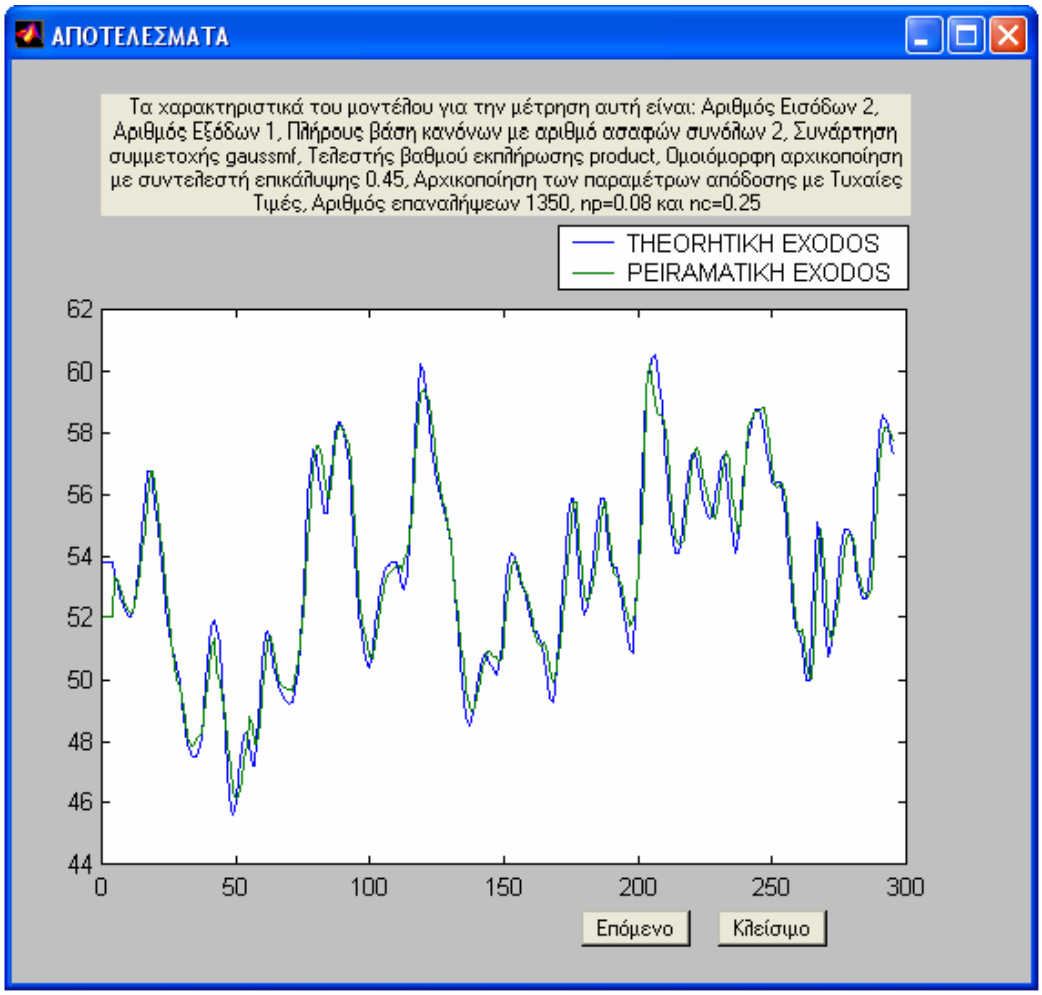
Σχήμα 26α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.56705
Προηγούμενο
Κλείσιμο

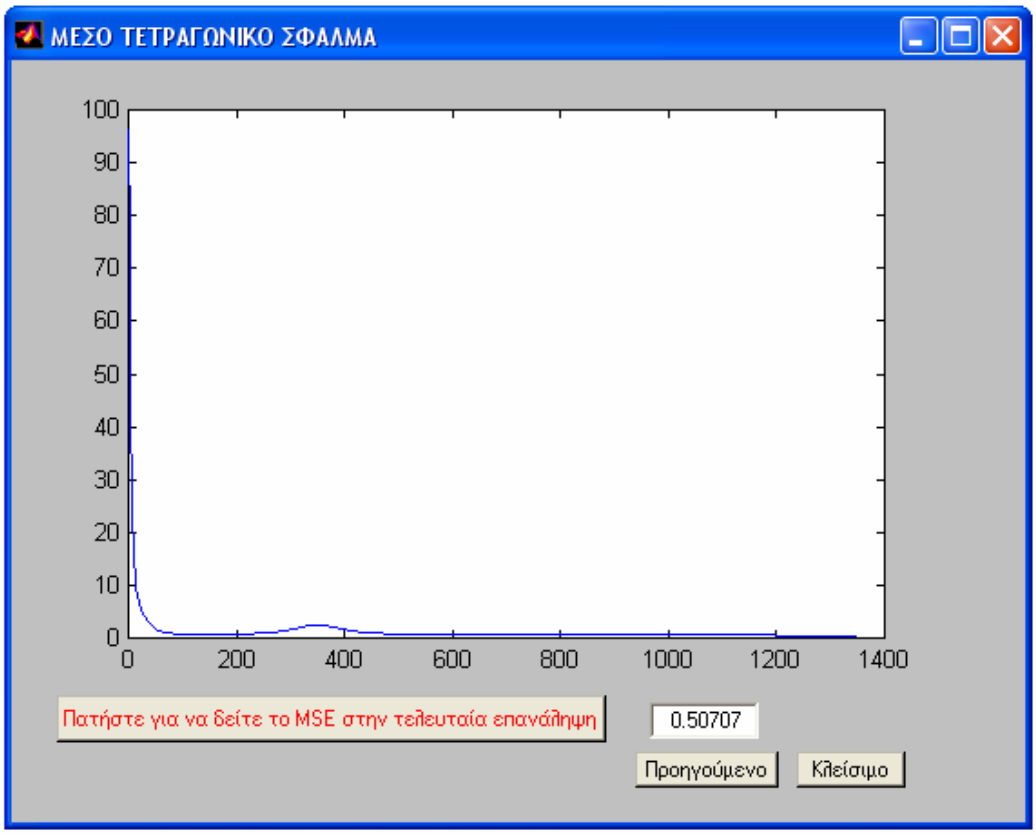
Σχήμα 26β

4.1.27 Μέτρηση 27η

Box_metrisi27



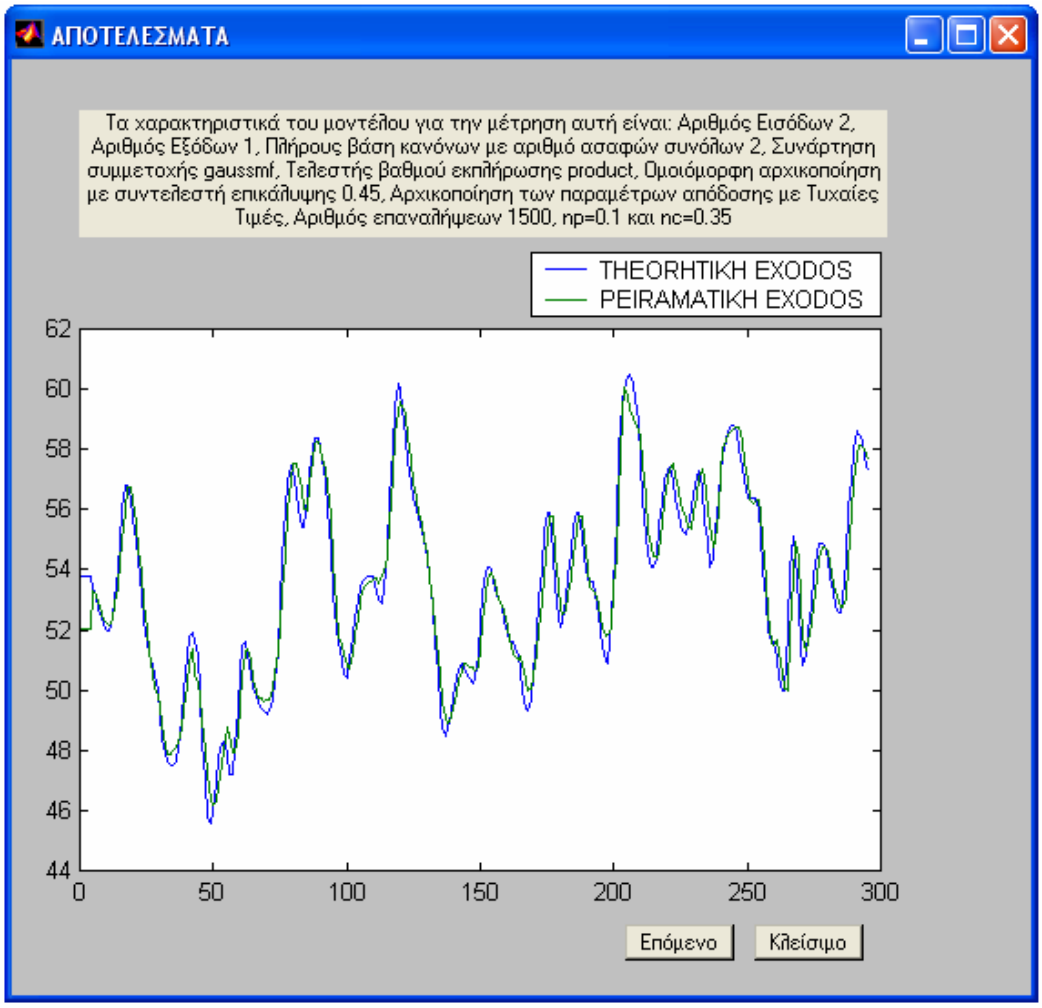
Σχήμα 27α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.50707
Προηγούμενο
Κλείσιμο

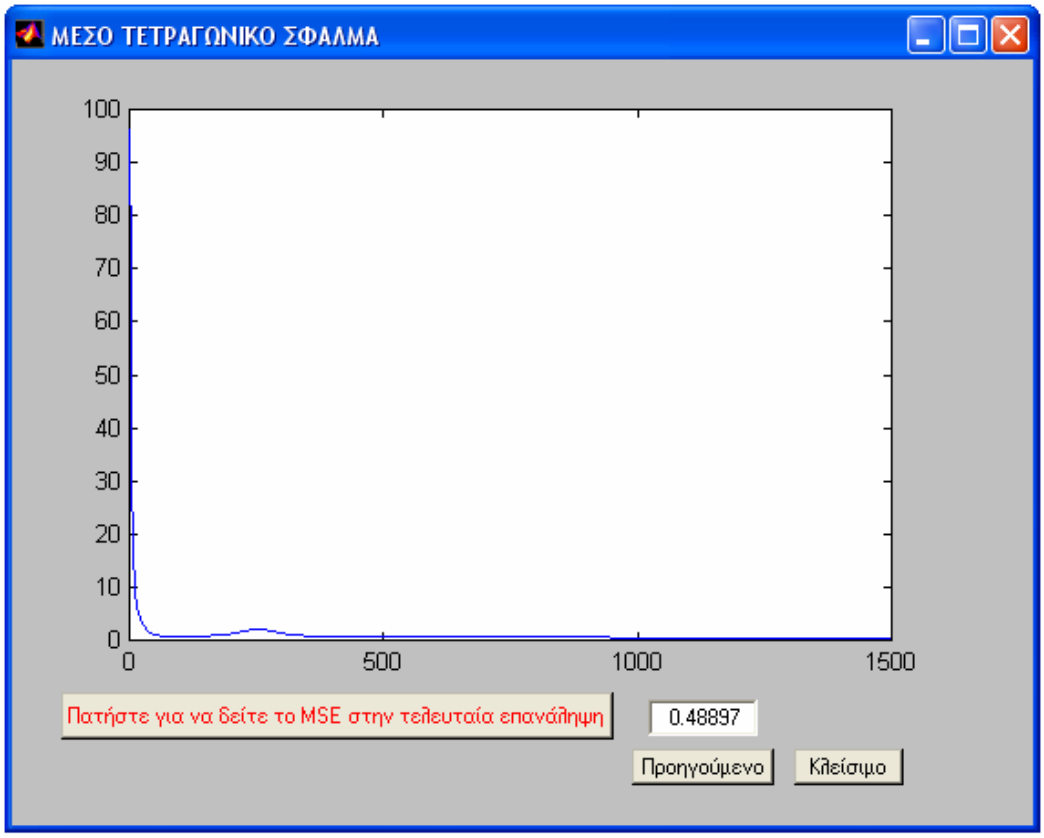
Σχήμα 27β

4.1.28 Μέτρηση 28η

Box_metrisi28



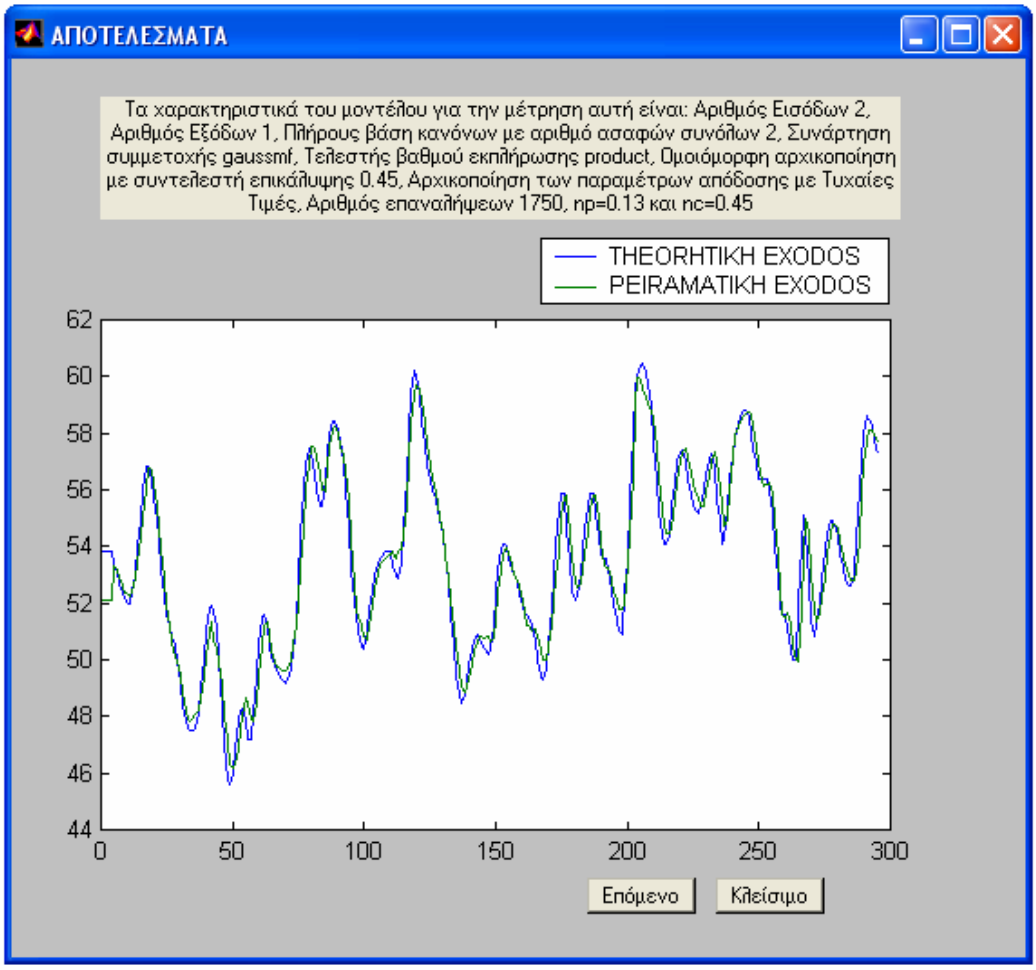
Σχήμα 28α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
500
1000
1500
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.48897
Προηγούμενο
Κλείσιμο

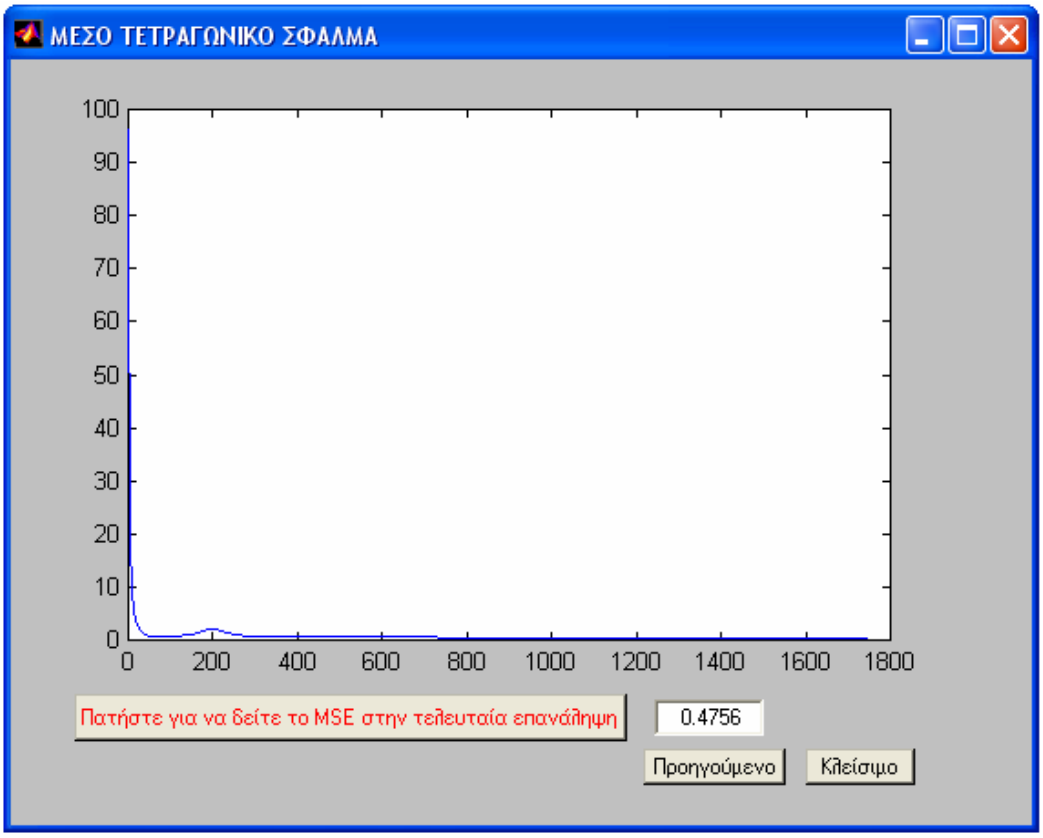
Σχήμα 28β

4.1.29 Μέτρηση 29η

Box_metrisi29



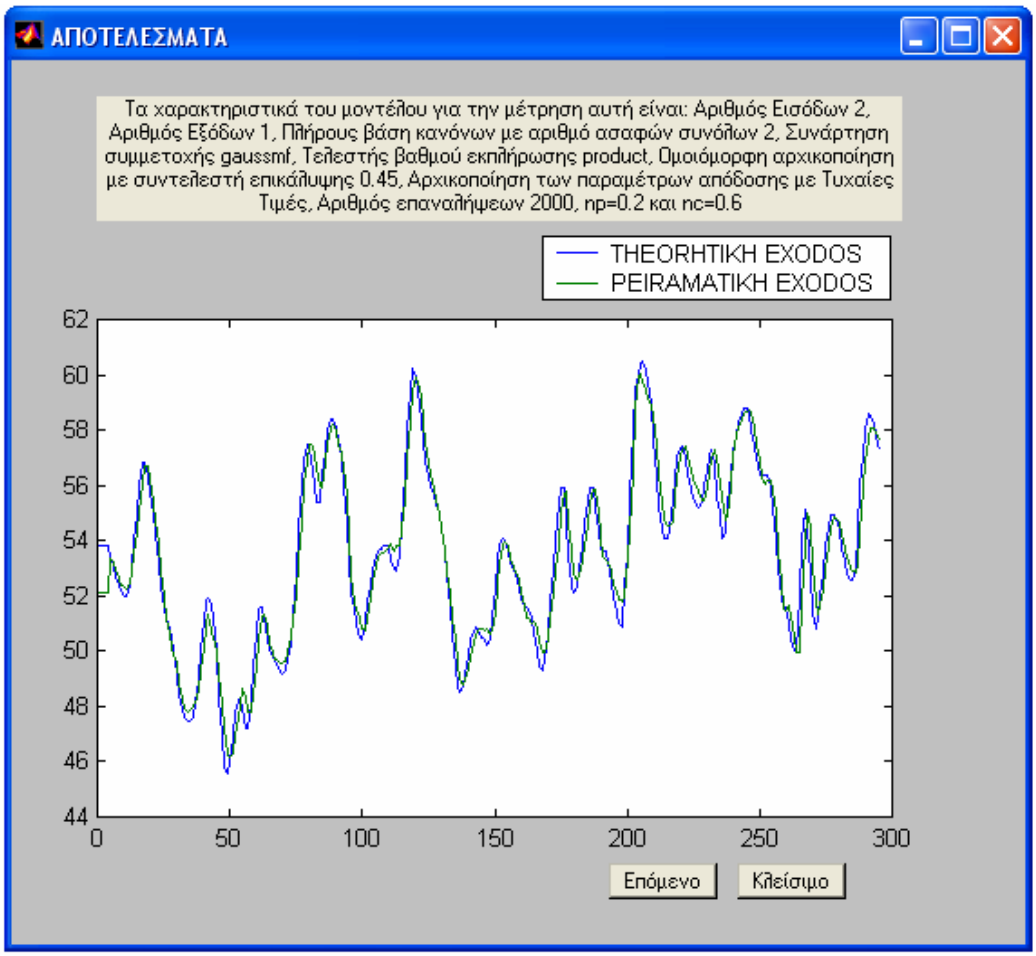
Σχήμα 29α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
200
400
600
800
1000
1200
1400
1600
1800
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.4756
Προηγούμενο
Κλείσιμο

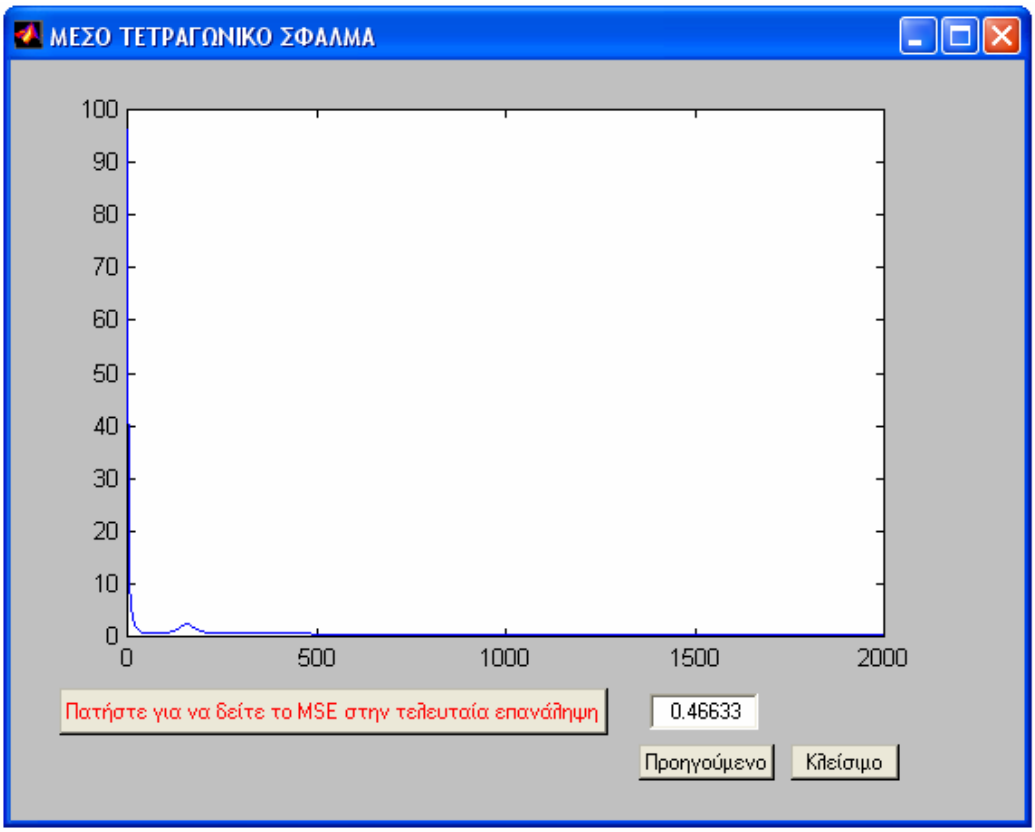
Σχήμα 29β

4.1.30 Μέτρηση 30η

Box_metrisi30



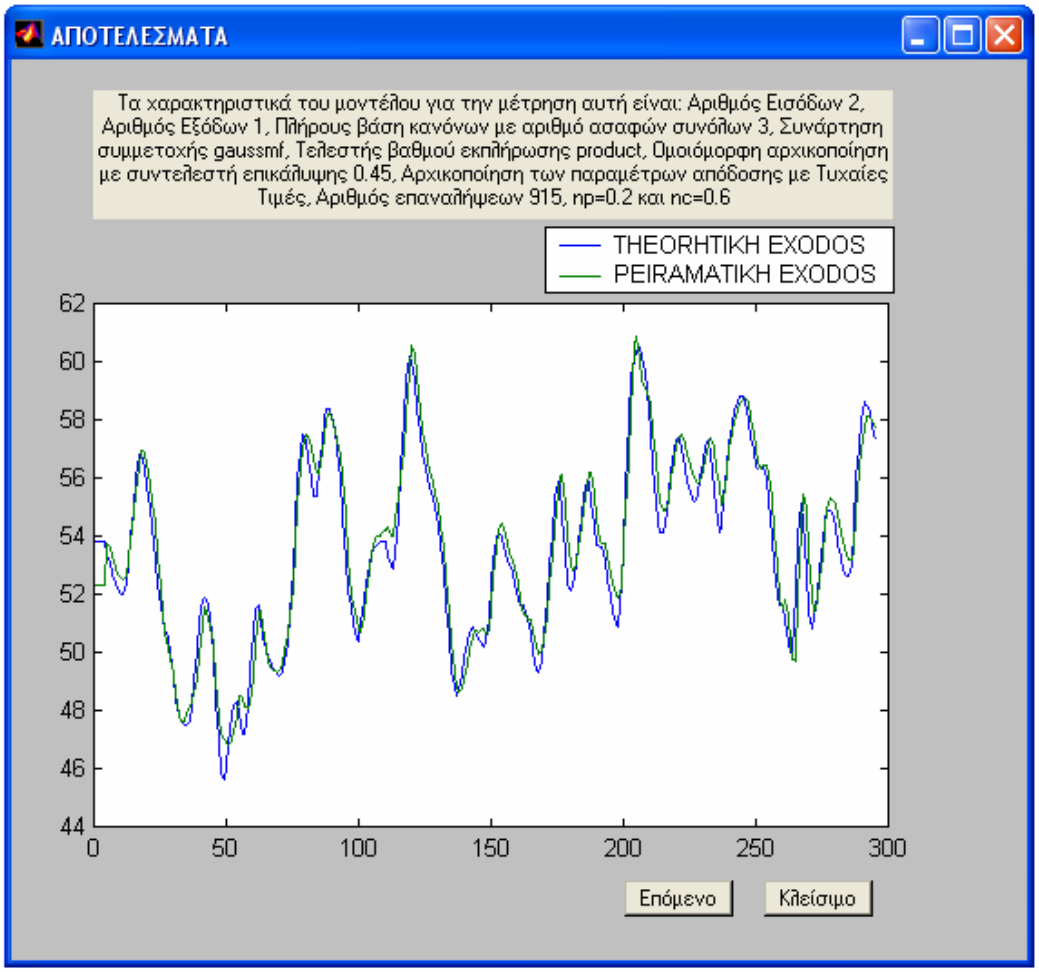
Σχήμα 30α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
500
1000
1500
2000
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.46633
Προηγούμενο
Κλείσιμο

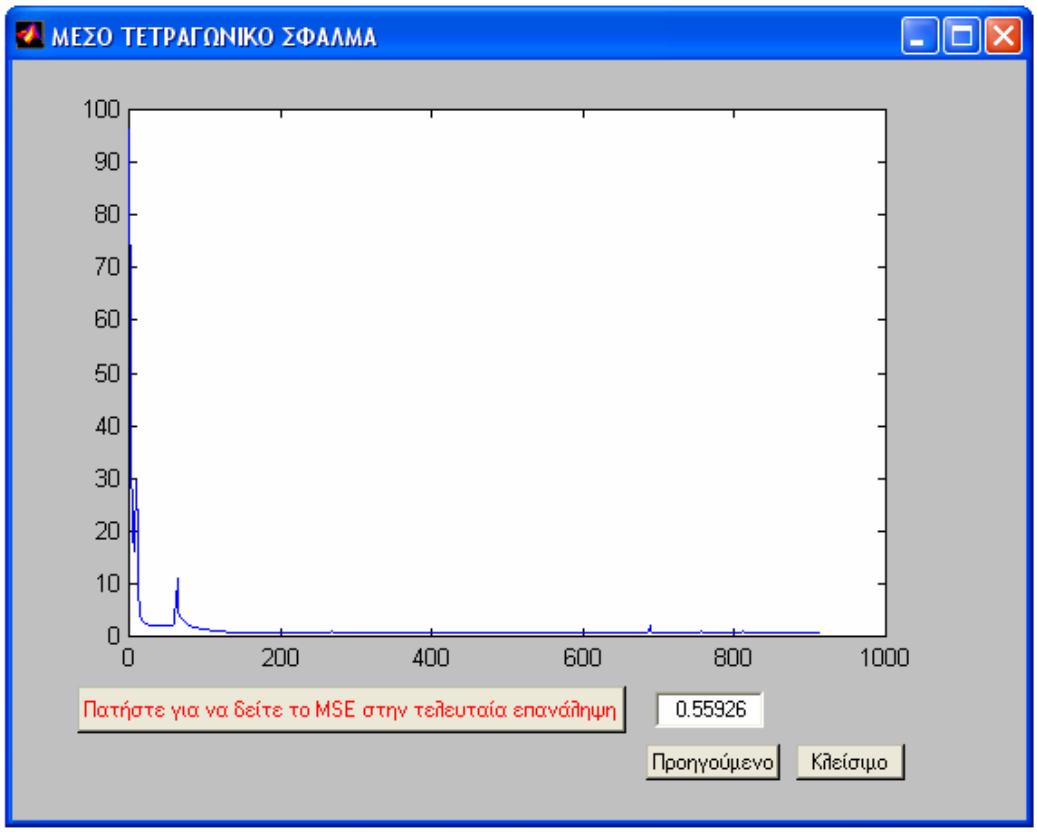
Σχήμα 30β

4.1.31 Μέτρηση 31η

Box_metrisi31



Σχήμα 31α


ΜΕΣΟ ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
200
400
600
800
1000
Πατήστε για να δείτε το MSE στην τελευταία επανάληψη
0.55926
Προηγούμενο
Κλείσιμο

Σχήμα 31β

4.3 Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που πήραμε από τις μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε για το σύνολο δεδομένων Box and Jenkins διαπιστώνουμε ότι:

Για μικρό αριθμό επαναλήψεων δεν έχουμε σωστή και ολοκληρωμένη εκπαίδευση του μοντέλου. Το γεγονός αυτό φαίνεται από την απόκλιση μεταξύ των γραφικών παραστάσεων των Πειραματικών και Θεωρητικών εξόδων στα Σχήματα 1 εως 12. Επίσης το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (Mean Squared Error) εμφανίζεται αρκετά μεγάλο. Για παράδειγμα στις 30 επαναλήψεις το σφάλμα είναι 27.7929, στις 50 επαναλήψεις είναι 8.0158.

Αντιθέτως, για μεγάλο αριθμό επαναλήψεων έχουμε πιο σωστή και ολοκληρωμένη εκπαίδευση του μοντέλου. Το γεγονός αυτό φαίνεται από τη σύγκλιση, σχεδόν ταύτιση, των γραφικών παραστάσεων των Πειραματικών και Θεωρητικών εξόδων στα Σχήματα 13 εως 30. Επίσης το Μέσο Τετραγωνικό Σφάλμα (Mean Squared Error) αρχίζει να μειώνεται, γεγονός που παρατηρείται και με την απότομη πτώση της καμπύλης της γραφικής παράστασης. Παραδείγματος χάριν στις 30 επαναλήψεις το σφάλμα είναι 27.7929 και έχει τη μορφή του Σχήματος 1β ενώ στις 2000 επαναλήψεις είναι 0.46633 και έχει την μορφή του Σχήματος 30β.

Βιβλιογραφία

[1] D.J. Dubois and H.M. Prade, *Fuzzy Sets and Systems*, Academic Press, San Diego, CA, 1980.

[2] J.-S.R. Jang, "ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 23, no. 3, pp. 665-685, 1993.

[3] B. Kosko, *Neural Networks and Fuzzy Systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1992.

[4] B. Kosko, *Fuzzy Thinking*, Hyperion, NY, 1993.

[5] C.C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller - Part I," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 20, no. 2, pp. 404-418, 1990.

[6] C.-T. Lin and C.S.G. Lee, *Neural Fuzzy Systems*: *A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1996.

[7] E.H Mamdani and S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 7, no. 1, pp. 1-13, 1975.

[8] M. Sugeno and T. Yasukawa, "A Fuzzy-Logic-Based Approach to Qualitative Modeling," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 7-31, 1993.

[9] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy Identification of Systems and Its Applications," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 15, no. 1, pp. 116-132, 1985.

[10] L.H. Tsoukalas and R.E. Uhrig, *Fuzzy and Neural Approaches in Engineering*, John Wiley & Sons, New York, NY, 1997.

[11] R.R. Yager and D.P. Filev, "Unified Structure and Parameter Identification of Fuzzy Models," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 23, no. 4, pp. 1198-1205, 1993.

[12] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets," *Information and Control*, vol. 8, pp. 338-353, 1965.

[13] L.A. Zadeh, "The concept of Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning, Part I," *Information Sciences*, vol. 8, pp. 199-249, 1975.

[14] X.-J. Zeng and M.G. Singh, "Approximation Accuracy Analysis of Fuzzy Systems as Function Approximators," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 4, no. 1, pp. 44-63, 1996.

[15] The Mathworks, Inc., *Getting Started with MATLAB,* The MathWorks, USA, 2002.

[16] The Mathworks, Inc., *Fuzzy Logic Toolbox User's Guide,* The MathWorks, USA, 2001.

[17] The Mathworks, Inc., *MATLAB Graphics User's Guide,* The MathWorks, USA, 2000.